ÜBER DIE BEEINFLUSSUNG DES BLUTDRUCKES

IN DEN KAPILLAREN DER HAUT DURCH VERSCHIEDENE TEMPERATUREN.

INAUGURAL-DISSERTATION

VERFASST UND DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER

K. BAYER. JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT

WÜRZBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT VON

ERWIN GOLDMANN

PRAKT. ZAHNARZT

AUS

STUTTGART-CANNSTATT.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

ARCHIV FÜR DIE GES. PHYSIOLOGIE BAND 159 (S. 51—92).

1915.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Würzburg.

Referent: Herr **Prof. Dr. von Frey.**

Meinen lieben, treuen Eltern
zur silbernen Hochzeit!

Über die Beeinflussung des Blutdruckes in den Kapillaren der Haut durch verschiedene Temperaturen.

(Mit 27 Textfiguren.)

Die Aufgabe des Blutkreislaufes besteht darin, den Organen Ernährungsmaterial und Sauerstoff zuzuführen, und dieselben von den Abfallstoffen zu befreien. Dieser Austausch zwischen Blut und Geweben findet in den Kapillaren statt, und so stellen diese zweifellos einen wichtigen Abschnitt des Gefässsystems dar. Deshalb ist es auch von Bedeutung, über die Kreislaufsverhältnisse in den Kapillaren ebensogut unterrichtet zu sein wie über die in den grösseren Gefässen. Aus diesem Grund folgte ich gerne der Aufforderung von Herrn Professor Basler in Tübingen, Untersuchungen auszuführen über den Blutdruck in den kleinsten Gefässen und dessen Beeinflussung durch verschiedene Temperaturen.

Bisherige Kenntnisse.

Wenn man den Druck in den verschiedenen Gefässen des Körpers misst, dann findet man, dass der Druck in der Aorta am grössten und in den grossen Venen am kleinsten ist, dass er also kontinuierlich sinkt. Aus dem Umstande, dass die Kapillaren zwischen diese beiden Gefässgebiete eingeschaltet sind, folgerte man von jeher, dass der Druck in den Kapillaren zwischen dem arteriellen und venösen liegen muss.

Poiseuille[1]) glaubte, dass in den Kapillaren die Blutbahn eingeengt wird; deshalb war es das Nächstliegende, anzunehmen, dass in ihnen der Hauptverbrauch an Energie stattfindet. Seitdem wissen

1) Poiseuille, Sur la pression du sang dans le système artériel. Compt. rend. de l'Acad. t. 66 p. 886 (889). 1868.

wir aber, dass in den Kapillaren die Bahn für den Blutstrom nicht kleiner, sondern im Gegenteil viel grösser wird. Der durch die zahlreichen Berührungspunkte hervorgerufene Reibungswiderstand übt keinen allzu grossen Einfluss auf die Druckverhältnisse aus, da die Geschwindigkeit ausserordentlich klein ist. Daher verlegte Campbell[1]) den grössten Druckabfall und den grössten Widerstand in die kleinen Arterien; eine Annahme, zu der auch Benno Levy[2]) auf Grund einer mathematischen Ableitung gelangte. Dass der hauptsächliche Druckverbrauch in den Arterien stattfindet, kann man aus dem Umstande schliessen, dass das Lumen der kleinsten Arterien das der Kapillaren nicht erheblich übertrifft, während die Geschwindigkeit in den ersteren eine viel grössere ist, da es bedeutend mehr Kapillaren als kleinste Arterien gibt. Aber trotzdem ist aus diesen Erwägungen heraus schwer zu sagen, welchen Druck man dem Blute in den Kapillaren zuschreiben darf. Auf welche Abwege man bei solchen rein theoretischen Kalkulationen kommen kann, geht daraus hervor, dass ein so hervorragender Forscher wie Fick[3]) den grössten Druckabfall in die kleinsten Venen verlegte in der Annahme, dass in den Kapillaren ein Blutdruck von nahezu der Höhe des arteriellen bestehe und ein Sinken erst in den Anfängen des venösen Abschnittes erfolge. Dieser Ansicht widerspricht aber von vornherein die allbekannte Tatsache, dass auch die kleinsten Venen nicht spritzen[4]).

Deshalb ist es als bedeutender Fortschritt zu begrüssen, dass N. v. Kries[5]) die Bestimmung des Druckes in den Kapillaren dem Experiment zugänglich gemacht hat. Im Jahre 1875 hat derselbe unter Ludwig's Leitung eine Methode zur Messung des genannten Druckes ausgearbeitet. Er legte eine kleine Glasplatte auf die Haut und belastete dieselbe so lange, bis die Stelle gerade blass wurde. Kennt man nun die Grösse der Platte, dann lässt sich der auf die Flächeneinheit ausgeübte Druck berechnen; der Druck auf die Haut war dann offenbar etwas grösser als der in den Kapillaren, denn sonst wären dieselben nicht zusammengepresst worden. Der Methode haften aber gewisse Mängel an, die schon v. Kries selbst richtig erkannte. Einmal muss die Epidermis durch die Glasplatte deformiert werden; die Deformationsarbeit ist im Verhältnis zum (hydrostatischen) Druck um so grösser, je kleiner die gedrückte Fläche, also je kleiner die Glasplatte ist, denn die Epidermis erfährt ja nur am Rande der

1) H. Campbell, On the resistance offered by the blood capillaries to the circulation. Lancet vol. 1 p. 594 (595). 1894.

2) B. Levy, Die Reibung des Blutes. Pflüger's Arch. Bd. 65 S. 447 (467). 1897.

3) A. Fick, Über den Druck in den Blutkapillaren. Pflüger's Arch. Bd. 42 S. 482. 1888. Gesammelte Schriften Bd. 3 S. 638 (640).

4) Vgl. hierzu G. F. Nicolai, Die Mechanik des Kreislaufes. Nagel's Handb. d. Physiol. Bd. 1 S. 661 (778).

5) N. v. Kries, Über den Druck in den Blutkapillaren der menschlichen Haut. Verhandl. d. Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch., math.-phys. Klasse Bd. 27 S. 149. 1875.

drückenden Platte eine Gestaltsveränderung. Ausserdem war es, wie v. Kries ebenfalls hervorhebt, oft recht schwer, einen geringen Farbenunterschied zu konstatieren.

Bei seinen Untersuchungen fand er am Fingerrücken einen Druck von 513 mm Wasser = 37,7 mm Quecksilber [1]). Bei dieser Gelegenheit machte er eine Beobachtung, die sich auch weiter namentlich bei den Versuchen v. Recklinghausen's [2]) bestätigte, nämlich die, dass der Druck in den Kapillaren nicht direkt abhängig ist vom hydrostatischen Druck des Blutes. Befand sich die Hand in der Höhe des Scheitels, dann betrug der Kapillardruck im Durchschnitt 328 mm Wasser, in einer Höhe von 490 mm unter dem Scheitel 513, und 840 mm unter dem Scheitel 738 mm Wasser. Wären die hydrostatischen Druckverhältnisse maassgebend, dann ergäben sich für den Kapillardruck der drei Stellungen folgende Werte: 328, 818 und 1168. Also in Wirklichkeit ändert sich der Kapillardruck viel weniger, als es nach den Gesetzen der Hydrostatik zu erwarten wäre. Zur Erklärung dafür lassen sich zwei Momente anführen, welche als Ursachen in Betracht kommen können: nämlich ein mechanisches, indem durch Senken der Hand die Gefässbahn [3]) oder wenigstens der venöse Teil derselben [4]) erweitert wird, und zweitens eine reflektorisch hervorgerufene Verengerung resp. Erweiterung der zuführenden Arterien beim Senken oder Heben [5]).

Ausserdem bemerkt v. Kries [6]), er habe wiederholt den Versuch gemacht, die Steigerung des Kapillardruckes durch arterielle Hyperämie nachzuweisen. Die Finger wurden zu diesem Zwecke in heisses oder kaltes Wasser getaucht, die Haut durch Induktionsstrom gereizt usw. Aber selbst bei ziemlich lebhafter Rötung der Haut liess sich keine Vermehrung des Blutdruckes feststellen. Man müsse also annehmen, dass die Grösse, um welche der Blutdruck in den Kapillaren bei mässig starker arterieller Hyperämie steigt, ganz innerhalb der Fehlergrenzen seiner Untersuchungsmethode liegt.

Natanson [7]), der unter Hermann's Leitung arbeitete, suchte den Einfluss der Massenumschnürung auf den Kapillardruck genauer zu ermitteln. Er fand, dass bei einer Umschnürung, die mit einer Belastung bis zu etwa 1650 g ausgeführt wurde, der Kapillardruck steigt, dann bleibt er stehen, und wenn man noch stärkeren Druck zum Abschnüren anwendet, sinkt er (Esmarch'sche Binde). Die Kompression der Haut erfolgte aber bei so hohem Druck (945,7 mm Wasser = 70,5 mm Quecksilber), dass man nicht mehr von der Be-

---

1) N. v. Kries, l. c. S. 154.

2) H. v. Recklinghausen, Unblutige Blutdruckmessung. III. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharm. Bd. 55 S. 463 (495). 1906.

3) N. v. Kries, l. c. S. 156.

4) H. v. Recklinghausen, l. c. S. 501.

5) H. v. Recklinghausen, l. c. S. 499.

6) N. v. Kries, l. c. S. 159.

7) G. Natanson, Über das Verhalten des Blutdruckes in den Kapillaren nach Massenumschnürungen. Königsberger Dissertation. 1886.

stimmung des Druckes in den Kapillaren sprechen kann, sondern des Druckes in den Arterien.

„Um von den Bestimmungen der belastenden Fläche für die Umrechnung des Gewichtsdruckes in hydrostatischen (wie sie bei der v. Kries'schen Methode nötig sind) unabhängig zu werden, und um mittels mikroskopischer Betrachtung den Füllungsgrad der Blutgefässe überwachen zu können", komprimierten Roy und Brown[1]) einen transparenten, Blutgefässe enthaltenden Körperteil (Schwimmhaut und Mesenterium des Frosches) zwischen einer Glasplatte und einem Luftkissen. Letzteres bestand aus einer durchsichtigen, feinen Membran, welche auf der einen Öffnung einer zylindrischen Kapsel aufgebunden war. Der Druck in dem zylindrischen Gefäss konnte an einem Manometer abgelesen werden und wurde durch die zarte Membran hindurch auf das Gewebe übertragen, wobei das Verhalten der Gefässe durch das Mikroskop verfolgt wurde. Bei langsamer Druckerhöhung wurde zuerst der Blutstrom in den kleinsten Gefässen pulsatorisch ungleich, d. h. systolisch schneller, diastolisch langsamer. Bei weiterer Drucksteigerung trat während der Diastole eine rückläufige Blutbewegung in den Arteriolen und dem arteriellen Teil der Kapillaren ein und endlich eine völlige Entleerung des in den Kapillaren vorhandenen Blutes sowie ein Zusammenfallen der Kapillaren.

Eine der Methode von Roy und Brown ähnliche Versuchsanordnung verwendete Lapinsky[2]) bei seinen Studien über die lokale Blutzirkulation im Bereiche gelähmter Nerven. Der gleichen Methode wie v. Kries bedienten sich H. und B. Ballantyne[3]), während v. Basch[4]) ein Glasgefäss mit Fischleim auf die Haut klebte und in diesem einen solchen Druck erzeugte, dass er gerade ausreichte, um die Hautgefässe blutleer zu machen. Rotermund[5]) gebraucht ebenfalls die v. Kries'sche Methode, doch wurde der Druck nicht durch Gewichtsbelastung, sondern Federspannung hergestellt. Der dazu verwendete, nach dem Vorschlag von v. Frey konstruierte Apparat, der als Kapillarmanometer bezeichnet wird, ist dem Fick'schen Ophthalmotonometer nachgebildet. Damit wurde zunächst ein hoher Druck

1) Ch. S. Roy und G. Brown, Neue Methode, den Blutdruck in den kleinen Arterien, Venen und Kapillaren zu messen. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 158. 1878. — Ch. S. Roy and G. Brown, The blood pressure and its variations in the arterioles, capillaries and smaller veins. Journ. of Physiol. vol. 2 p. 323. 1879/80.

2) M. Lapinsky, Studien über die lokale Blutzirkulation im Bereiche gelähmter Nerven. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1899 Supplbd. S. 477 (487).

3) H. and B. Ballantyne, Journ. of Boston Soc. of med. science vol. 3 p. 330. 1899.

4) S. v. Basch, Über die Messung des Kapillardruckes am Menschen und deren physiologische und klinische Bedeutung. Wiener klin. Rundschau Bd. 14 S. 549. 1900.

5) H. Rotermund, Über den Kapillardruck, besonders bei Arteriosklerose nebst Bemerkungen über den Blutdruck bei Arteriosklerose. Inaug.-Diss. Marburg 1904.

hergestellt, welcher dann so lange verringert wurde, bis die erblasste Haut wieder die normale Farbe annahm. Die Versuche wurden an der Stirn des auf dem Rücken liegenden Patienten vorgenommen. Bei 43 Personen männlichen Geschlechts wurde ein Kapillardruck zwischen 20 und 42 mm Quecksilber festgestellt; beim weiblichen Geschlecht schwankte es zwischen 17 und 40 mm Quecksilber.

v. Recklinghausen[1]) benutzte einen flachen Gummibeutel, der aus zwei kreisförmig geschnittenen, dünnen Gummiplatten bestand, welche rings am Rande miteinander verklebt waren. Über den Gummibeutel legte er eine Glasplatte parallel der Hautoberfläche in möglichst geringem Abstand. In den Beutel führte seitlich ein Schlauch hinein, durch den der Innenraum einerseits mit einer Pumpe und andererseits mit einem Manometer in Verbindung stand. Er erhöhte nun den Druck in dem Beutel so lange, bis die Haut blass wurde, und liess hierauf den Druck wieder abnehmen, bis eine deutliche Rötung der Haut wahrgenommen werden konnte.

Schiller[2]) verwendete wie Rotermund das zu diesem Zwecke umgeformte Fick'sche Ophthalmotonometer. Bei den Messungen wurde der linke Mittelfinger in ein Gefäss getaucht, in dem sich Wasser von einer bestimmten Ausgangstemperatur befand, und so lange darin belassen, bis sich weder mit dem Auge eine Verfärbung, noch mit dem Ophthalmotonometer eine Druckveränderung feststellen liess. Dann wurde er rasch herausgezogen und in ein zweites Gefäss mit Wasser von bestimmter höherer oder niedrigerer Temperatur getaucht und nach 2 Minuten wieder der Kapillardruck bestimmt: Dabei zeigte sich der Druck im allgemeinen nur abhängig von der Temperatur, bei der die Untersuchung stattfand, und unabhängig von der Ausgangstemperatur, zum Unterschied von der Temperaturempfindung, die vorwiegend von der Ausgangstemperatur abhängt. Das Maximum des Druckes herrschte näherungsweise bei 35° C.

In neuester Zeit hat Lombard[3]) aus dem physiologischen Institut Würzburg eine höchst bemerkenswerte Arbeit veröffentlicht. Nach seinen Beobachtungen lassen sich mit einem Mikroskop bei 24facher Vergrösserung die Gefässe der Cutis in der Haut erkennen, wenn man auf den Finger eine Glycerinschicht bringt und für genügende Beleuchtung sorgt. Die Versuche wurden an der Basis eines Fingernagels und am Handrücken angestellt. Die Hand wurde etwa 10 cm unterhalb des unteren Herzrandes bei einer Temperatur von 20° C. gehalten. Wird der Versuchsfinger verschieden stark durch aufgelegte Gewichte komprimiert, während gleichzeitig die Gefässe beobachtet werden, so kann man feststellen, dass bei allmählicher Erhöhung des Druckes der Reihe nach verschiedene Gefässe zusammengedrückt werden. So werden die Gefässe des subpapillären Venenplexus bei einem Druck

---

1) H. v. Recklinghausen, l. c. S. 490 und 468.

2) W. Schiller, Über den Einfluss der Temperatur auf den Druck in den Kapillaren der Haut. Physiol. Zentralbl. Bd. 24 S. 391. 1911.

3) W. P. Lombard, The blood pressure in the arterioles, capillaries and small veins of human skin. American Journ. of Physiol. vol. 29 p. 335. 1912.

von 10—15 mm Hg, oberflächliche, kleinste Venen bei 15—20 mm Hg verschlossen; leicht komprimierbare Kapillaren verschwinden bei 15 bis 25 mm, mittlere Kapillaren bei 35—45 mm Hg nnd schwer komprimierbare Kapillaren sowie Arteriolen bei 60—70 mm Quecksilberdruck. Der Druck des Blutes fällt also auf seinem Weg von den Arteriolen durch die Kapillaren zum subpapillären Venenplexus um 40—50 mm Hg.

Was ist unter Kapillardruck zu verstehen, und was für ein Druck wird gemessen?

Die Kapillaren sind, anatomisch betrachtet, Schläuche aus einer endothelartigen, dünnen Haut von einem Durchmesser von 4,5—13 μ und von verschiedener Länge. Sie unterscheiden sich wesentlich von den grösseren Arterien und Venen, aber der Übergang ist nach beiden Seiten hin ein ganz unmerklicher. Wenn die Verschiedenheit der Kapillaren unter sich in anatomischer Hinsicht schon so gross ist und sie sich ohnedies schwer von den kleinsten Arterien und Venen unterscheiden lassen, so gilt das Gesagte in noch höherem Maasse für die physiologischen Verhältnisse.

Es ist anzunehmen, dass in den einzelnen Kapillaren verschiedener Druck herrscht, was auch experimentell zu zeigen ist. Lässt man nämlich auf die Schwimmhaut des Frosches einen allmählich wachsenden Druck gleichmässig wirken, dann kann man mit Hilfe des Mikroskopes erkennen, dass sich bei einem bestimmten Druck nicht alle Kapillaren zugleich schliessen, sondern zunächst nur einzelne. Wird der Druck erhöht, dann schliessen sich wieder andere und so fort, bis bei einer bestimmten Stärke der Kompression alle Kapillaren verschlossen sind, wobei sicher noch manche andere Gefässe undurchgängig geworden sind, die im anatomischen Sinne nicht zu den Kapillaren gerechnet werden dürfen. Ähnliche Beobachtungen konnte Lombard[2]) an der menschlichen Haut machen. Wir müssen also annehmen, dass in den zuerst geschlossenen Kapillaren von vornherein der Druck geringer war.

Wird der Kapillardruck nach dem Druck beurteilt, den man anwenden muss, um die Haut in toto blass werden zu lassen, dann weiss man erst recht nicht, ob man in streng anatomischem Sinne nur Kapillaren komprimiert oder auch grössere Gefässe; denn in der

1) V. v. Ebner, in A. Koelliker's Handb. d. Gewebelehre d. Menschen Bd. 3 S. 666. 1902.

2) W. P. Lombard, l. c. S. 359. (Vgl. das auf S. 7 Gesagte.

Haut liegen ausser den Kapillaren noch kleinste Arterien und kleinste Venen. Sie alle sind dem einwirkenden Druck ausgesetzt. Presst man die Haut nur ganz leicht, dann werden natürlich die Gefässe mit dem geringsten Druck verschlossen; es ist dies, wie Lombard[1]) zeigen konnte, der subpapilläre Venenplexus; durch seine Kompression wird die Haut eine Spur blässer. Bei etwas stärkerem Drücken werden die Gefässe mit höherem Druck verschlossen, und die Folge ist, dass die blasse Farbe der Haut zunimmt.

Dass je nach dem Druck eine verschiedene Farbe der Haut zu beachten ist, beschreibt v. Recklinghausen[2]) wie folgt: „Wenn wir, nachdem wir zuvor durch hohen Druck die Haut völlig anämisch gemacht haben, den Druck allmählich absinken lassen, so beobachten wir, dass sich die Haut nicht etwa mit einem Schlage rötet, sondern dass bei einem bestimmten Druck ein leichter roter Ton der weissgraugelben Farbe der anämischen Haut sich beimischt. Bei weiterem Sinken des Druckes nimmt die Rötung mehr und mehr zu, bis schliesslich die intensive Purpurfarbe der arteriell-hyperämischen Haut erreicht ist, die sich dann bei noch weiterer Druckverminderung nicht mehr ändert."

Das was gemeinhin als Kapillardruck bezeichnet wird, ist also etwas durchaus Komplexes. Unter diesen Begriff fällt erstens der Druck in den eigentlichen Kapillaren (im streng anatomischen Sinne), der, wie erwähnt wurde, selbst in den einzelnen Kapillarschlingen durchaus verschieden ist. Zweitens gehört dahin der Druck in den allerkleinsten Arterien und Venen. Man hat also unter dem sogenannten Kapillardruck den Druck in den kleinsten Gefässen zu verstehen, und wenn im folgenden kurzweg die Bezeichnung Kapillardruck gebraucht wird, so ist damit keineswegs der Druck in den Kapillaren allein gemeint.

Was der Druck, den wir messen, zu bedeuten hat, davon gibt v. Recklinghausen[3]) eine eingehende Darstellung. Er sagt unter anderem: „Der Druck, bei welchem eben die ersten Kapillaren sich schliessen, ist gleich dem Druck, welcher normalerweise im nächsthöheren Gefäss, d. h. also in den die Kapillaren speisenden Arteriolen

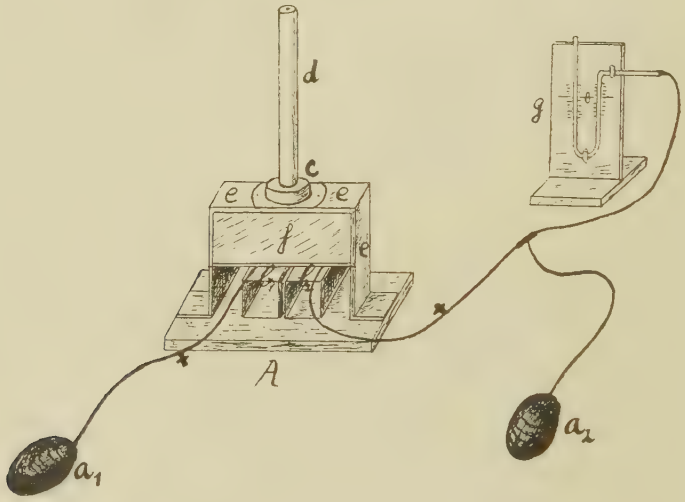
1) W. P. Lombard, l. c. S. 359.
2) H. v. Recklinghausen, l. c. S. 490.
3) H. v. Recklinghausen, l. c. S. 494.

herrscht. Wir messen also hier den Druck in den allerkleinsten Arterien.“ Ob jedoch die geistvollen Ausführungen v. Recklinghausen's noch volle Gültigkeit besitzen, nachdem wir aus den Untersuchungen Lombard's wissen, dass durch den geringsten Druck die kleinsten Venen komprimiert werden, ist schwer zu sagen.

Eigene Untersuchungen.

Methode.

Zur Ausführung meiner Versuche bediente ich mich des von Herrn Prof. Dr. Basler[1]) angegebenen Apparates, den er unter dem Namen Ochrometer beschrieben hat.



Figur 1.

Aufstellung für die Vornahme der Untersuchungen. *A* Ochrometer, a_1 und a_2 Gummigebläse (die schwarzen Linien bedeuten die zur Verbindung dienenden Gummischläuche), *g* Manometer.

Zwei Finger einer Hand werden unter je ein an der Unterfläche mit Goldschlägerhaut überspanntes, rechteckiges Kästchen b_1 und b_2 (Fig. 1) gesteckt; die Kästchen besitzen oben ein Fenster, so dass man durch den Tubus *d* auf die unter der Goldschlägerhaut liegenden

1) A. Basler, Untersuchungen über den Druck in den kleinsten Blutgefässen der menschlichen Haut. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 147 S. 395. 1912.

Finger sehen kann. Durch Einpressen von Luft mittels der Gebläse a_1 und a_2 lässt sich der Luftdruck über beiden Fingern beliebig erhöhen. Der eine Finger dient dabei als Vergleichsobjekt, während über dem anderen der Druck so lange erhöht wird, bis sich die Haut gerade zu verfärben beginnt. Da die beiden zu vergleichenden Hautflächen nicht unmittelbar nebeneinanderliegen, so werden sie durch zwei Fresnel'sche Prismen, die in den Teil *c* des Apparates eingebaut sind, einander scheinbar genähert. Für gute Beleuchtung der sichtbaren Fingerflächen sorgt ein an der hinteren Seite des Apparates angebrachter Spiegel *f*. Der Druck über dem untersuchten Finger wird an dem Manometer *g* abgelesen.

Der ganze obere Teil des Apparates, *c* und *d*, welcher die optische Einrichtung enthält, lässt sich mitsamt dem Gestell *e*, auf welchem er aufgebaut ist, und dem Beleuchtungsspiegel *f* von den Kästchen, die zur Kompression der Haut dienen, abnehmen.

Es empfiehlt sich, die zu betrachtenden Hautpartien mit einer Glycerinschicht zu überziehen, so dass der Zwischenraum zwischen Goldschlägerhaut und Finger mit Glycerin angefüllt ist. Dadurch legt sich die Goldschlägerhaut besser an, und die rötlichen, durch die Fingerhaut gefärbten Flächen erscheinen gleichmässiger. Da die Goldschlägerhaut immer ihre Struktur erkennen lässt und deshalb die sichtbaren Teile der Haut nie als gleichmässige Flächen erscheinen, so versuchte ich die Kästchen mit durchsichtigem Gummi zu überziehen, wie er von der Firma Fr. M. Daubitz in Rudow bei Berlin geliefert wird. Leider erwies sich Gummi für diese Zwecke als unbrauchbar, weil die Kästchen sich mit Gummiplatten nicht luftdicht überziehen liessen. Übrigens würde auch der gelbe Farbton der letzteren die Beurteilung der Fingerfarbe sehr erschweren. Ferner habe ich versucht, die Goldschlägerhaut durch Fischblase zu ersetzen, doch bin ich davon bald wieder abgekommen, da sich die Goldschlägerhaut viel besser anschmiegt und die Sichtbarkeit der zu untersuchenden Hautpartien nur wenig beeinträchtigt.

Zu meinen ersten Untersuchungen benützte ich ein Quecksilbermanometer. Es fiel mir aber bald auf, dass es schwer möglich ist, die in Betracht kommenden Druckunterschiede mit Sicherheit an einem Quecksilbermanometer abzulesen, denn es handelte sich bei meinen Versuchen oft um die Ermittlung von sehr geringen Druckwerten. Deshalb verwendete ich in der Hauptsache, wie dies auch

Basler[1]) getan hat, nur Manometer, die mit Wasser gefüllt waren. Ein zweites Manometer zur Messung des Druckes über dem Vergleichsfinger habe ich der Einfachheit halber weggelassen.

Bei meinen Untersuchungen war ich Versuchsperson und Experimentator in einer Person. Es war deshalb ziemlich schwierig, mit der einzigen Hand, die mir zur Verfügung stand, das Gummigebläse nur so wenig zu komprimieren, dass der Druck nicht zu hoch wurde. Deshalb benützte ich zur Kompression des Gebläses eine besondere Einrichtung, die sich als ausserordentlich empfehlenswert erwies. Sie besteht aus einem ungefähr 25 cm langen und 8 cm breiten Brettchen a, auf dem zwei Holzklötze b_1 und b_2 befestigt sind, deren Höhe nicht viel kleiner ist als der Durchmesser des Gummigebläses c. An dem einen derselben ist durch ein Scharnier e ein dünneres Brettchen d befestigt. Durch Niederdrücken seines freien Endes hat man die Möglichkeit, das zwischen b_1 und b_2 gelegene Gummigebläse c nur bis zu einem gewissen, von der Höhe der beiden Klötze b_1 und b_2 abhängigen Grad zu verkleinern und dadurch regelmässige Steigerungen des Druckes zu erzielen.

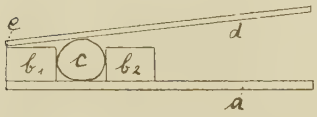


Fig. 2. Vorrichtung zur langsamen Kompression des Gebläses. c stellt den Gummiballon des Gebläses im Durchschnitt dar.

Um das häufig lästig werdende Anlaufen der Glasfenster (vgl. S. 58) des Apparates zu vermeiden, schraubte ich jede Woche die beiden Kästchen ab und rieb die Scheiben mit einem Lasinstift ein, wie man ihn gebraucht, um das Anlaufen von Brillengläsern zu verhindern, und der bei jedem Optiker zu kaufen ist. Wenn die Gläser sich trotzdem einmal beschlugen, so war dies so minimal, dass die Beobachtungen in keiner Weise gestört wurden.

Bei meinen Versuchen habe ich stets, wenn nichts anderes angegeben ist, den linken Mittelfinger als Vergleichs- und den linken Zeigefinger als Versuchsfinger benützt. — Selbstverständlich muss auch eine gleichmässige Differenz zwischen der Höhe des Herzens und der Versuchshand eingehalten werden, da sonst die Ergebnisse verschieden ausfallen. Deshalb habe ich die Hand immer sitzend bequem auf den Tisch aufgelegt; dabei ist eine Kompression der Blutgefässe durch die Tischkante zu vermeiden. Zu diesem Zweck

1) A. Basler, l. c. S. 400.

empfiehlt es sich, einen weichen Gegenstand, etwa ein mehrfach zusammengelegtes Tuch, unter die Hand zu legen. Ausserdem ist darauf zu achten, dass die Messung nicht sofort nach dem Einstecken der Finger in den Apparat erfolgt, da der Druck infolge der Bewegung des Armes beim Einstellen der Beleuchtung usw. leicht etwas stärker werden kann.

Der Druck über dem Versuchsfinger wurde bei den Beobachtungen so lange erhöht, bis sich dem Vergleichsfinger gegenüber ein leichtes Blasswerden zeigte. Dabei werden, wie man annehmen kann, nur diejenigen Gefässe komprimiert, in denen der geringste Druck herrscht.

Zur Kritik des Apparates.

Die wichtigste Frage ist die, inwieweit die mit dem Ochrometer gefundenen Werte wirklich dem in den Kapillaren herrschenden Druck entsprechen, denn es muss berücksichtigt werden, dass die Bestimmung des Kapillardruckes mit dem beschriebenen Apparate eine indirekte ist, d. h. die kleinsten Gefässe der Haut werden unter so starken Druck gesetzt, dass sie zusammengepresst werden, was man wieder an der Farbe der Haut erkennen kann. Es ist deshalb nur zu berechtigt, wenn über die Genauigkeit einer solchen Methode Zweifel entstehen, die eine eingehende Kritik geboten erscheinen lassen. So wäre es denkbar, dass auch die allerkleinsten Gefässe eine gewisse Wandspannung besitzen, die überwunden werden muss. Weiter kommt in Betracht der Widerstand, den die Epidermis und das die Kapillaren umgebende Gewebe der Deformation entgegensetzt, und schliesslich wirft sich noch die Frage auf, ob man durch ein Vergleichen der Farben genügend feine Unterschiede erkennen kann. Für die Kapillaren der Froschschwimmhaut haben Roy und Brown[1]) gezeigt, dass die blutgefüllten Kapillaren einer abgeschnittenen Froschpfote sich entleerten, wenn von aussen ein Druck von nur wenigen Millimetern Wasser einwirkte. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass hier wesentlich andere Bedingungen vorhanden sind als in der menschlichen Haut. v. Recklinghausen[2]) ist der Ansicht, man könne mit Recht die Annahme machen, dass die kapillare Wand und die umgebenden Gewebe keinen wesentlichen offenhaltenden oder zusammendrückenden Einfluss auf das kapillare Lumen ausüben, da

1) Roy and Brown, The blood pressure and its variations e. c. Journ. of Physiol. vol. 2 p. 323 (328). 1879/80.

2) H. v. Recklinghausen, l. c. S. 494.

für die grossen Arterien und grossen Hautvenen in der Tat diese Voraussetzung zutreffe. — Der Epidermiswiderstand kann sich, wie schon v. Kries[1]) auseinandergesetzt hat, nur auf die Umrandung der gedrückten Fläche beziehen, denn nur da wird die Haut deformiert. Will man den dadurch entstehenden Fehler möglichst klein machen, muss die gedrückte Fläche sehr gross werden. Bei Anwendung einer Glasplatte kann man aber nie über eine bestimmte Grösse hinausgehen, weil sonst die Gefahr besteht, dass die Platte nicht mehr überall gleichmässig anliegt. Anders ist es aber, wenn mit einer weichen Substanz gepresst wird, also etwa mit einer durchsichtigen Membran, welche sich der Haut überall gleichmässig anschmiegt. Eine solche Membran kann, wie das beim Ochrometer der Fall ist, so gross gemacht werden, dass der Epidermiswiderstand praktisch gleich Null ist.

Was die Beurteilung der Farbenveränderung anlangt, so sind bei dem Ochrometer die Chancen insofern die denkbar günstigsten, als man stets zwei gleichzeitig dargebotene Färbungen vergleicht. Dass die Farbe im allgemeinen richtig beurteilt wird, geht daraus hervor, dass auch ein geringes Hellerwerden bei ein und demselben Druck von verschiedenen Personen wahrgenommen wurde. Trotzdem schien es aber wünschenswert, das Resultat der Ochrometeruntersuchungen auch noch in anderer, möglichst objektiver Weise zu prüfen. Zu diesem Zweck benützte ich einen ebenfalls von Herrn Prof. Basler[2]) konstruierten Apparat, den er kürzlich unter dem Namen „Hautmanometer“ beschrieb. Es war mir zwar infolge Zeitmangels nicht möglich, viele Versuche damit anzustellen, doch überzeugte ich mich davon, dass bei Zimmertemperatur die mit beiden Apparaten vorgenommenen Bestimmungen höchstens um wenige Millimeter Wasserdruck voneinander abwichen.

Kapillardruck unter normalen Umständen.

Ehe ich dazu übergehe, den Einfluss verschiedener Temperaturen auf den Kapillardruck zu beschreiben, sei ein Versuch mitgeteilt, bei dem ich den Kapillardruck längere Zeit beobachtete, um zu sehen,

1) N. v. Kries, l. c. S. 152.

2) A. Basler, Untersuchungen über den Druck in den kleinsten Blutgefässen der menschlichen Haut. II. Mitt. Pflüger's Arch. Bd. 157 S. 345 (352). 1914.

wie gross die normalen Schwankungen dieses Druckes sind, solange kein äusserer Reiz einwirkt.

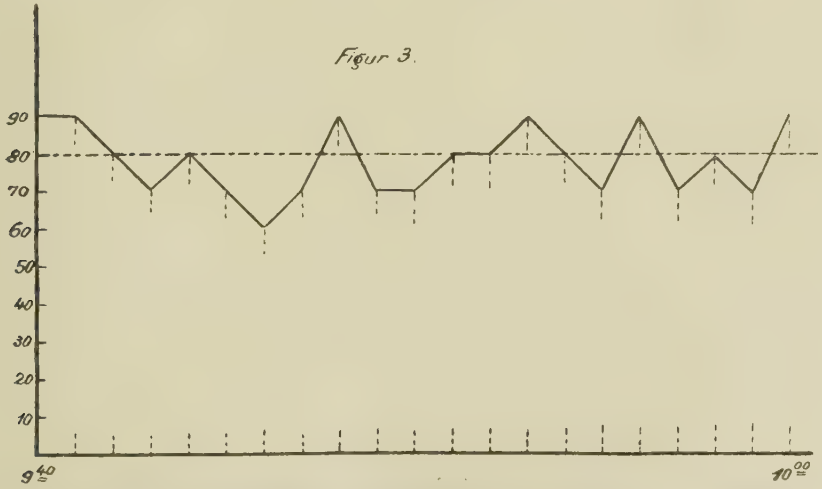
Ich bestimmte den Kapillardruck meines Zeigefingers 20 Minuten lang von Minute zu Minute und erhielt Werte, wie sie aus untenstehender Tabelle zu ersehen sind.

Tabelle I.

Kapillardruckmessung unter normalen Umständen. 29. Mai 1913. Versuchsperson: E. G. Zimmertemperatur 20,5° C.

Zeit	Druck in Millimeter Wasser	Zeit	Druck in Millimeter Wasser
9h 40′	90	9h 51′	80
9h 41′	90	9h 52′	80
9h 42′	80	9h 53′	90
9h 43′	70	9h 54′	80
9h 44′	80	9h 55′	70
9h 45′	70	9h 56′	90
9h 46′	60	9h 57′	70
9h 47′	70	9h 58′	80
9h 48′	90	0h 59′	70
9h 49′	70	10h 00′	90
9h 50′	70		

Der besseren Übersichtlichkeit wegen wurden die Ergebnisse dieses Versuches in Kurvenform dargestellt.



Abweichungen in der Bestimmung des Kapillardruckes im Verlaufe von 20 Minuten. (Die Abszissen bedeuten die Zeiten, die Ordinaten die Druckwerte in Millimeter Wasser.)

Aus dem mitgeteilten Versuche ersieht man, dass die einzelnen Bestimmungen des Druckes in den Kapillaren meines Fingers im

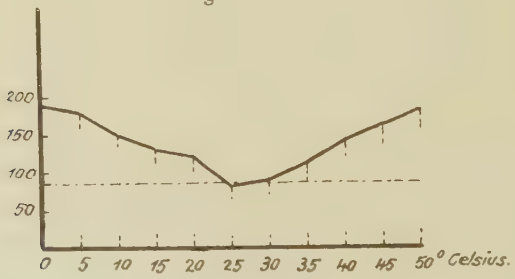
Verlauf von 20 Minuten ziemlich bedeutenden Schwankungen unterworfen waren. Sie bewegten sich zwischen den Werten 70 und 90 mm; einmal betrug der Druck sogar nur 60 mm Wasser. Diese Reihe stimmt vollkommen überein mit der von Basler[1]) veröffentlichten Tabelle. Wie mir Herr Prof. Basler mitteilte, beträgt nach seinen Beobachtungen der niederste Kapillardruck bei normalen Menschen 80—120 mm Wasser. Demnach ist der bei mir gefundene Druck als normal zu betrachten, doch muss er als ziemlich niedrig bezeichnet werden.

Einfluss der Temperatur auf den Druck in den kleinsten Hautgefässen.

Da in der Literatur verhältnismässig wenig über den Einfluss verschiedener Temperaturen auf den Blutdruck in den kleinsten Gefässen der Haut bekannt ist, so habe ich versucht, durch eingehende Beobachtungen die Abhängigkeit dieses Druckes von verschiedenen Temperaturen festzustellen. Dabei ging ich in folgender Weise vor: Mit Hilfe des Ochrometers wurde zuerst der Kapillardruck unter gewöhnlichen Umständen bestimmt. Nach dieser ersten Beobachtung werden die beiden Versuchsfinger 1/4 Minute lang in Wasser von bestimmter Temperatur gesteckt und der Druck wieder gemessen.

Die Ergebnisse einiger Versuche dieser Reihe sind in Tabelle II (S. 17) wiedergegeben und in Fig. 4 als Kurve dargestellt.

Figur 4.



Abhängigkeit des Kapillardruckes von der Wassertemperatur. (Die Abszissen bedeuten die Wassertemperaturen in Celsiusgraden, die Ordinaten die dadurch bedingten Kapillardrucke in Millimeter Wasser.)

1) A. Basler, Untersuchungen über den Druck in den kleinsten Blutgefässen der menschlichen Haut. Pflüger's Arch. Bd. 147 S. 393 (401). 1912.

Tabelle II.

Einwirkung verschiedener Wassertemperaturen auf den Kapillardruck.
Versuchsperson: E. G. Dauer der Einwirkung: 1/4 Minute.

Datum 1913	Zeit	Zimmertemperatur ° C.	Wassertemperatur ° C.	Druck in Millimeter Wasser: vor dem Eintauchen	Druck in Millimeter Wasser: nach dem Eintauchen	Durchschnittswerte des Druckes
20. Mai	11h 04′	14	—	90 80	— —	85
	11h 12′	14	15	—	130 120 140	130
	11h 43′	14	0	—	200 190 190	193,3
	5h 46′	17	5	—	180 190 180	183,3
21. Mai	11h 15′	14	—	90	—	90
	11h 16′	14	10	—	150 160 140	150
	3h 23′	16	20	—	120 140 130	130
	4h 49′	16	25	—	90 80 80	83,3
22. Mai	8h 55′	13	—	80	—	80
	9h 00′	13	30	—	90 80 90	86,6
	9h 45′	13	35	—	110 110 100	106,6
	11h 10′	16	—	90	—	90
	11h 15′	16	40	—	140 140 140	140
23. Mai	10h 50′	15	—	80	—	80
	10h 51′	15	45	—	160 150 160	156,6
	12h 00′	15	50	—	180 180 190	183,3

Aus Tabelle II und Figur 4 lässt sich ersehen, dass der Druck in den kleinsten Gefässen nach vorausgegangenem Eintauchen der Hand in Wasser von 25—30° C. sich nicht nachweisbar veränderte, dass er aber nach Einwirkung sowohl kälteren wie auch wärmeren Wassers eine Steigerung erfuhr.

Die Kurve zeigt uns ohne weiteres, dass die Beeinflussung des Druckes zwar nicht genau, aber doch angenähert der Temperaturempfindung parallel geht; denn Wasser von 30° verursacht ja beim gewöhnlichen Adaptationszustand der Haut nur eine geringe Kälteempfindung. Je weiter sich aber die Temperatur des Wassers nach oben oder unten von der Indifferenztemperatur entfernte, um so stärker wurde die Beeinflussung, und zwar im Sinne einer Drucksteigerung.

Dieses Ergebnis ist ein durchaus anderes, als ich nach den bisher vorliegenden Untersuchungen erwartet hatte. Schiller hatte gefunden, dass durch erhöhte und verminderte Temperatur der Umgebung der Kapillardruck niedriger wird als der normale. Dieses abweichende Verhalten lässt sich nur durch die verschiedenartige Ausführung der Versuche erklären.

Abgesehen davon, dass meine Ergebnisse in einem gewissen Widerspruch zu denen Schiller's stehen, war noch ein Umstand im höchsten Maasse merkwürdig, nämlich der, dass der Druck nach Erwärmung wie nach Abkühlung scheinbar anstieg, während doch die einfache Besichtigung lehrt, dass im ersteren Falle die Haut ein rotes, im letzteren ein blasses Aussehen zeigt. Auf die Erklärung dieser Erscheinung werde ich weiter unten eingehen.

Einfluss der Wirkungsdauer einer veränderten Temperatur auf den Kapillardruck.

Bei den bisher beschriebenen Versuchen wurde der Finger immer 1/4 Minute lang einer neuen Temperatur ausgesetzt. Es schien nun nicht ohne Interesse, festzustellen, ob der Kapillardruck unter Umständen in irgendeinem Verhältnisse zur Dauer der vorherigen Temperatureinwirkung steht. Zunächst bestimmte ich den Einfluss der Dauer einer höheren Temperatur und tauchte deshalb eine Hand in Wasser von 37° C., welches deutlich warm erschien. Dieser Versuch ist auf S. 19 in Form einer Tabelle wiedergegeben. Fig. 5 (S. 19) zeigt ihn graphisch dargestellt.

Aus dieser Versuchsreihe ersehen wir, dass es für die durch Eintauchen in warmes Wasser bedingte Kapillardrucksteigerung gleichgültig war, wie lange das warme Wasser einwirkte.

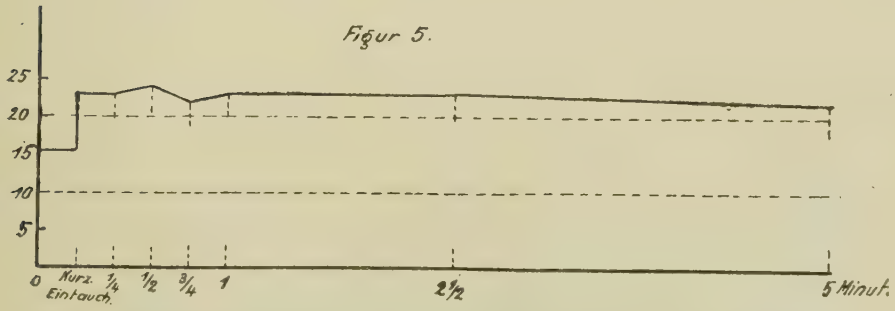
Derselbe Versuch wurde auch mit kaltem Wasser angestellt. Nach Eintauchen der Hand in Wasser von 10° C. war wieder der Druck, der nötig war, um ein deutliches Erblassen der Haut zu erzielen, erhöht, und die Grösse der Druckzunahme war unabhängig

Tabelle III.

Kapillardruck nach verschieden langer Einwirkung einer und derselben Temperatur. Versuchsperson: E. G.

Datum 1913	Zeit	Zimmer-temperatur ° C.	Wasser-temperatur ° C.	Dauer der Einwirkung des Wassers	Druck in mm Hg vor dem Eintauchen	Druck in mm Hg nach dem Eintauchen	Durchschnittswerte des Druckes	Umgerechnet in Millimeter Wasserdruck
	11h 00′	14	—	—	15 14 15	—	14,7	199,9
16. Mai	11h 02′	14	37	1′	—	22 23 23	22,7	308,7
	11h 45′	14	37	5′	—	20 23 23	22,0	299,2
	2h 45′	16	37	kurzes Eintauchen	—	24 23 23	23,3	316,9
17. Mai	3h 15′	16	37	1/4′	—	23 24 22	23,0	312,8
	3h 45′	16	37	1/2′	—	24 23 24	23,7	322,3
	11h 15′	13	37	—	16 14 15	—	15,0	204,0
19. Mai	11h 20′	13	37	3/4′	—	22 23 22	22,3	303,3
	4h 00′	16	37	2 1/2′	—	23 24 23	23,3	316,9

Figur 5.



Abhängigkeit des Kapillardruckes von der Dauer einer Erwärmung. (Die Abszissen bedeuten die Zeiten, während deren die Hand eingetaucht blieb, in Minuten, die Ordinaten den dadurch bedingten Kapillardruck in Millimeter Quecksilber.)

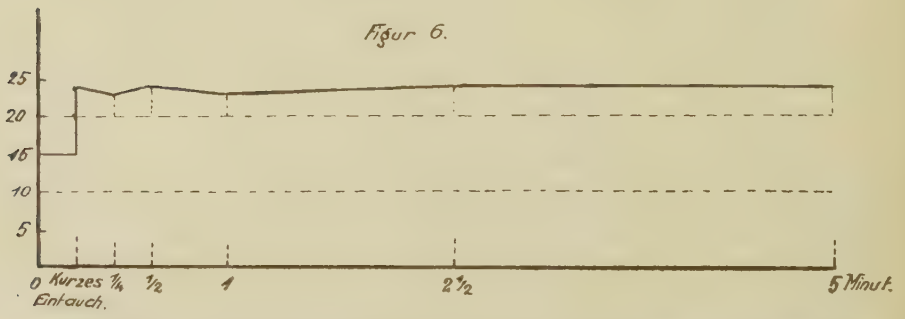
von der Zeit, während welcher die Hand in dem kalten Wasser steckte, was aus der folgenden Tabelle hervorgeht.

Tabelle IV.

Kapillardruck nach verschieden langer Einwirkung von Wasser von 10° C.
Versuchsperson: E. K.

Datum 1913	Zeit	Zimmer-temperatur ° C.	Wasser-temperatur ° C.	Dauer der Einwirkung	Druck in mm Hg vor dem Eintauchen	Druck in mm Hg nach dem Eintauchen	Durchschnittswerte des Druckes	Umgerechnet in Millimeter Wasserdruck
	8h 00′	13	—	—	15 16 14	—	15,0	204,0
	8h 04′	13	10	kurzes Eintauchen	—	25 23 23	23,7	322,3
16. Mai	9h 08′	13	10	1/4′	—	23 24 23	23,3	316,9
	10h 15′	14	10	1/2′	—	24 25 23	24,0	326,4
	9h 03′	14	10	1′	—	23 24 23	23,3	316,9
17. Mai	9h 50′	14	10	2 1/2′	—	24 23 24	23,7	322,3
	11h 05′	15	10	5′	—	23 25 24	24,0	326,4

Auch dieser Versuch wurde als Kurve dargestellt.



Abhängigkeit des Kapillardruckes von der Dauer einer Abkühlung. (Die Abszissen bedeuten die Zeiten, während deren die Hand eingetaucht blieb, in Minuten, die Ordinaten den dadurch bedingten Kapillardruck in Millimeter Quecksilber.)

Bei diesen Versuchsreihen dürfte der Umstand auffallen, dass ich im Vergleich zu anderen Beobachtungen und zu meinen eigenen späteren Ergebnissen ausserordentlich hohe Druckwerte fand. Dies

erklärt sich daraus, dass diese Bestimmung meine erste Untersuchung war, die ich vornahm; infolgedessen konnte ich aus Mangel an Übung noch nicht die allergeringste Verfärbung mit voller Sicherheit erkennen und erhielt so etwas zu hohe Werte. Ausserdem verwendete ich zur Bestimmung des Druckes ein Quecksilbermanometer, wodurch ohnedies leicht zu hohe Werte abgelesen werden (vgl. S. 11). Das Gesamtergebnis dieser Reihe, dass die Dauer des Eintauchens keinen Einfluss hat auf die Höhe des Kapillardruckes, ist nichtsdestoweniger richtig, wie aus zahlreichen später angestellten Kontrollversuchen hervorgeht. So sieht man z. B., dass bei dem auf Seite 22 mitgeteilten Versuch der Kapillardruck in einer Höhe von 150—160 mm gefunden wurde, ganz gleichgültig, ob der Finger 1/4 oder 3 Minuten eingetaucht wurde.

Wie lange bleibt die durch Eintauchen in kaltes Wasser hervorgerufene Druckveränderung in den Kapillaren bestehen?

Um diese Frage beantworten zu können, habe ich Bestimmungen bei Abkühlung mit einer konstanten Temperatur, nämlich 13° C., gemacht. Zur Feststellung, ob die Dauer der vorherigen Temperatureinwirkung, die ja, wie gezeigt wurde, auf die Grösse der Kapillardruckveränderung keinerlei Einfluss hat, nicht vielleicht die Dauer der Nachwirkung beeinflusst, wurden Untersuchungen in folgender Art ausgeführt. Ich liess das Wasser von konstanter Temperatur (13° C.) zuerst ganz kurz und dann immer länger auf die Hand einwirken und beobachtete mit dem Ochrometer den Druck so lange, bis er wieder zu der Höhe zurückkehrte, die er vor dem Eintauchen gehabt hatte.

Als Beleg dienen drei meiner Versuche, die in Tabelle V (S. 22) mitgeteilt sind.

Aus diesen Versuchen lässt sich entnehmen, dass es nach einer Einwirkung von Wasser von 13° C. ungefähr 6—7 Minuten dauerte, bis der Kapillardruck wieder die normale Höhe erreicht hatte, und dass es keinen Unterschied bedingte, ob das Wasser länger oder kürzer einwirkte; denn die kleinen Schwankungen können wir wohl den immer auftretenden Fehlerquellen zuschreiben. Mitunter dauerte es auch trotz den gleichen Bedingungen 8—9 Minuten, bis der normale Kapillardruck wieder erreicht war.

Tabelle V.

Dauer der Veränderung des Kapillardruckes in Wasser von 13° C. nach verschieden langem Eintauchen der Hand.

Datum 1913	Versuchsperson	Dauer der Einwirkung von kaltem Wasser	Anfang der Beobachtung	Ende der Beobachtung	Dauer der Veränderung des Druckes in Sek.	Druck in mm Wasser: vor dem Eintauchen	sofort nach dem Eintauchen	am Ende der Beobachtung
26. Mai	E. G.	kurzes Eintauchen	3h 01′	3h 07′	6	80	150	70
		1/4′	3h 55′	4h 02′	7	—	150	80
		1/2′	4h 38′	4h 44′	6	90	160	80
27. Mai	E. G.	3/4′	11h 10′	11h 17′	7	90	150	90
		1′	11h 52′	11h 58′	6	—	150	80
		2 1/2′	3h 25′	3h 31′	6	80	160	80
28. Mai	Prof. Dr. B.	kurzes Eintauchen	10h 12′	10h 18′	6	80	150	80
		1/4′	11h 24′	11h 31′	7	90	160	90
		1/2′	2h 36′	2h 43′	7	—	160	90
		3/4′	3h 19′	3h 25′	6	90	150	80
		3′	4h 42′	4h 48′	6	—	160	90

Lange fortgesetzte Beobachtungen der durch Temperatureinwirkungen bedingten Veränderungen des Kapillardruckes.

Bei den bisherigen Beobachtungen, die sich über 6—7 Minuten erstreckten, fiel mir auf, dass der Kapillardruck nach Ablauf dieser Zeit häufig niedriger war als vor dem Eintauchen. Es schien mir nicht ausgeschlossen, dass dieses Sinken unter die Norm auch noch eine Nachwirkung der Temperaturbeeinflussung darstellt. Aus diesem Grunde setzte ich die Messungen in einer neuen Versuchsreihe viel länger fort. Einer dieser Versuche sei in folgender Tabelle mitgeteilt.

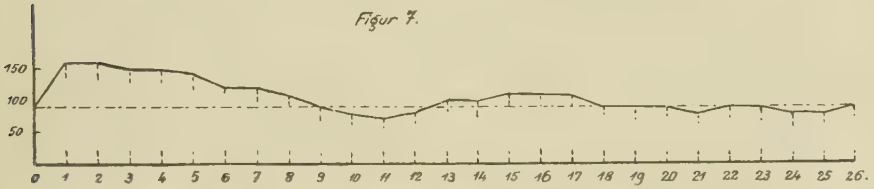
Tabelle VI.

Längere Beobachtungen über den Kapillardruck nach Eintauchen der Hand in Wasser von 13° C. Versuch vom 29. Mai 1913. Versuchsperson: E. G. Vor dem Versuch betrug der Kapillardruck 90 mm Wasser. 4h 13′ wurde die Hand 1/4′ lang in Wasser von 13° C. getaucht. Zimmertemperatur 21° C.

Zeit	Druck in mm Wasser	Zeit	Druck in mm Wasser	Zeit	Druck in mm Wasser
4h 14′	160	4h 23′	80	4h 32′	90
4h 15′	160	4h 24′	70	4h 33′	90
4h 16′	150	4h 25′	80	4h 34′	80
4h 17′	150	4h 26′	100	4h 35′	90
4h 18′	140	4h 27′	100	4h 36′	90
4h 19′	120	4h 28′	110	4h 37′	80
4h 20′	120	4h 29′	110	4h 38′	80
4h 21′	110	4h 30′	110	4h 39′	90
4h 22′	90	4h 31′	90		

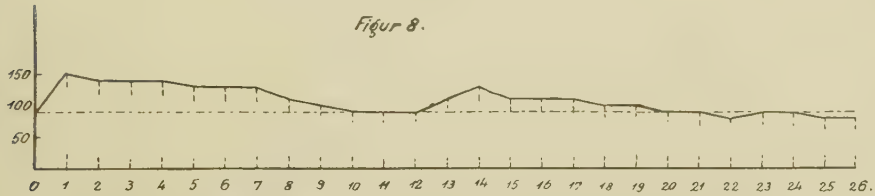
Eine graphische Darstellung dieses Versuches ist in Fig. 7 gegeben. Die Kurven der Fig. 8 und 9 stellen zwei weitere Versuche der gleichen Art dar. Sie seien nur deshalb veröffentlicht, damit man sich von der Regelmässigkeit des Verlaufs überzeugen kann.

Figur 7.



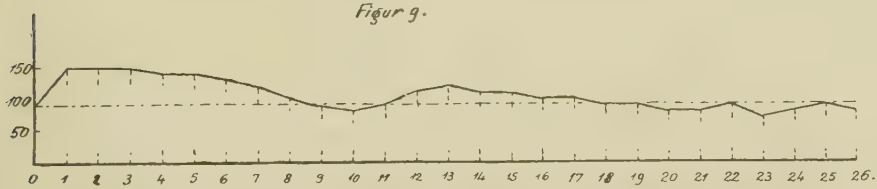
Versuch vom 29. Mai 1913. Versuchsperson: E. G. Zimmertemperatur 21° C. Wassertemperatur 13° C. Abszissen = Zeiten in Minuten (1 entspricht der Zeit 4h 14'). Ordinaten = Druck in Millimeter Wasser. Die gestrichelte Linie bezeichnet einen Druck von 90 mm Wasser.

Figur 8.



Versuch vom 30. Mai 1913. Versuchsperson: E. G. Zimmertemperatur 19° C. Wassertemperatur 13° C. Abszissen = Zeiten in Minuten, Ordinaten = Druck in Millimeter Wasser.

Figur 9.



Versuch vom 31. Mai 1913. Versuchsperson: E. G. Zimmertemperatur 21° C. Wassertemperatur 13° C. Abszissen = Zeiten in Minuten, Ordinaten = Druck in Millimeter Wasser.

Bei diesen Versuchen lässt sich sofort nach der Temperatureinwirkung ein Steigen des Druckes beobachten, dann ein langsames Zurückgehen bis zum ursprünglichen Druck, meistens sogar unter ihn. Hierauf folgte stets noch eine zweite Erhebung, die kleiner war als die erste, die aber bald verschwand, indem sich der Druck, abgesehen von den gewöhnlichen Schwankungen, wieder auf die Null einstellte. Diese zweite Erhebung lässt sich wohl als die Folge einer neuerlichen Gefässveränderung betrachten.

Es war nach den bisherigen Beobachtungen zu vermuten, dass die Dauer der Nachwirkung je nach der Stärke des thermischen Reizes

beeinflusst wird. Um mir hierüber Gewissheit zu verschaffen, steckte ich die Hand je 1/4 Minute lang in Wasser von verschiedener Temperatur und bestimmte von Minute zu Minute die Höhe des Kapillardruckes. Die Ergebnisse einiger meiner Versuche sind umstehend mitgeteilt.

Tabelle VII.

Allgemeines	Zeit	Druck in Millimeter Wasser	Bemerkungen
Versuch v. 3. Juni 1913. Wassertemper. 0° C. Zimmertemper. 22° C. Graphische Darstellung: Fig. 10	11h 15′	90	Vor dem Eintauchen
	11h 16′	220	
	11h 17′	210	
	11h 18′	180	
	11h 19′	160	
	11h 20′	140	
	11h 21′	110	
	11h 22′	100	
	11h 23′	100	
	11h 24′	90	
	11h 25′	80	
	11h 26′	80	
	11h 27′	100	
	11h 28′	110	
	11h 29′	90	
	11h 30′	100	
	11h 31′	120	
	11h 32′	100	
	11h 33′	90	
	11h 34′	70	
	11h 35′	90	
	11h 36′	80	
	11h 37′	90	
	11h 38′	80	
	11h 39′	70	
	11h 40′	90	
Versuch v. 2. Juni 1913. Wassertemper. 5° C. Zimmertemp. 21,5° C. Graphische Darstellung: Fig. 11	3h 20′	90	Vor dem Eintauchen
	3h 26′	190	
	3h 27′	190	
	3h 28′	180	
	3h 29′	180	
	3h 30′	170	
	3h 31′	170	
	3h 32′	150	
	3h 33′	140	
	3h 34′	140	
	3h 35′	120	
	3h 36′	90	
	3h 37′	80	
	3h 38′	100	
	3h 39′	130	
	3h 40′	120	
	3h 41′	100	
	3h 42′	120	
	3h 43′	110	
	3h 44′	90	
	3h 45′	80	
	3h 46′	90	
	3h 47′	90	
	3h 48′	90	
	3h 49′	80	
	3h 50′	80	

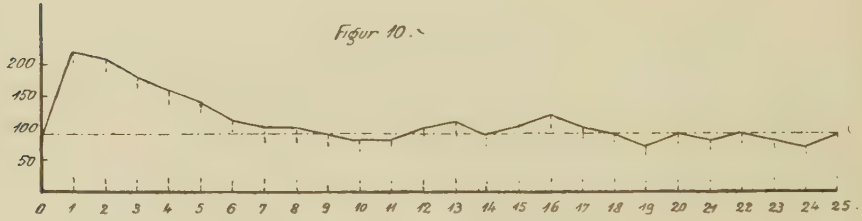
Allgemeines	Zeit	Druck in Millimeter Wasser	Bemerkungen
Versuch vom 9. Juni 1913. Wassertemper. 10° C. Zimmertemper. 18° C. Graphische Darstellung: Fig. 12	11h 21′	90	Vor dem Eintauchen
	11h 26′	160	
	11h 27′	150	
	11h 28′	140	
	11h 29′	130	
	11h 30′	120	
	11h 31′	120	
	11h 32′	110	
	11h 33′	100	
	11h 34′	90	
	11h 35′	80	
	11h 36′	80	
	11h 37′	100	
	11h 38′	120	
	11h 39′	110	
	11h 40′	90	
	11h 41′	80	
	11h 42′	90	
	11h 43′	80	
	11h 44′	80	
Versuch vom 8. Juni 1913. Wassertemper. 15° C. Zimmertemper. 19° C. Graphische Darstellung: Fig. 13	11h 30′	90	Vor dem Eintauchen
	11h 31′	130	
	11h 32′	120	
	11h 33′	120	
	11h 34′	110	
	11h 35′	110	
	11h 36′	100	
	11h 37′	80	
	11h 38′	90	
	11h 39′	120	
	11h 40′	110	
	11h 41′	100	
	11h 42′	90	
	11h 43′	80	
	11h 44′	80	
	11h 45′	90	
Versuch vom 2. Juni 1913. Wassertemper. 20° C. Zimmertemper. 20° C. Graphische Darstellung: Fig. 14	11h 13′	80	Vor dem Eintauchen
	11h 17′	130	
	11h 18′	120	
	11h 19′	120	
	11h 20′	100	
	11h 21′	100	
	11h 22′	90	
	11h 23′	80	
	11h 24′	110	
	11h 25′	110	
	11h 26′	80	
	11h 27′	90	
	11h 28′	70	
	11h 29′	80	
	11h 30′	90	
	11h 31′	70	
	11h 32′	90	

Allgemeines	Zeit	Druck in Millimeter Wasser	Bemerkungen
Versuch v. 8. Juni 1913. Wassertemper. 25° C. Zimmertemper. 19° C. Graphische Darstellung: Fig. 15	10h 12′	90	Vor dem Eintauchen
	10h 15′	100	
	10h 16′	80	
	10h 17′	70	
	10h 18′	70	
	10h 19′	90	
	10h 20′	100	
	10h 21′	110	
	10h 22′	100	
	10h 23′	90	
	10h 24′	90	
	10h 25′	80	
	10h 26′	90	
Versuch v. 30 Mai 1913. Wassertemp. 27,5° C. Zimmertemper. 20° C. Graphische Darstellung: Fig. 16	11h 09′	90	Vor dem Eintauchen
	11h 16′	90	
	11h 17′	80	
	11h 18′	90	
	11h 19′	100	
	11h 20′	100	
	11h 21′	90	
	11h 22′	90	
	11h 23′	90	
	11h 24′	80	
	11h 25′	80	
Versuch v. 5. Juni 1913. Wassertemper. 30° C. Zimmertemp. 20,5° C. Graphische Darstellung: Fig. 17	10h 29′	90	Vor dem Eintauchen
	10h 32′	100	
	10h 33′	90	
	10h 34′	100	
	10h 35′	110	
	10h 36′	120	
	10h 37′	120	
	10h 38′	100	
	10h 39′	80	
	10h 40′	90	
	10h 41′	80	
	10h 42′	80	
Versuch v. 5. Juni 1913. Wassertemper. 35° C. Zimmertemp. 20,5° C. Graphische Darstellung: Fig. 18	9h 03′	80	Vor dem Eintauchen
	9h 07′	110	
	9h 08′	110	
	9h 09′	100	
	9h 10′	100	
	9h 11′	90	
	9h 12′	90	
	9h 13′	110	
	9h 14′	90	
	9h 15′	80	
	9h 16′	90	
	9h 17′	80	

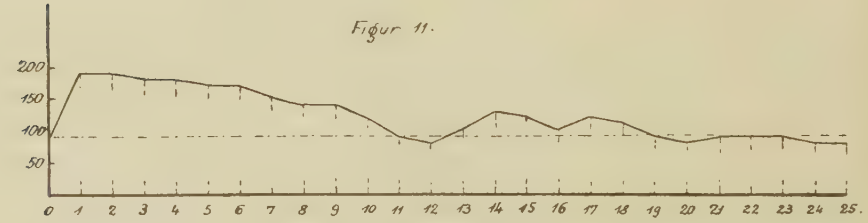
Allgemeines	Zeit	Druck in Millimeter Wasser	Bemerkungen
Versuch vom 4. Juni 1913.	11h 04′	90	Vor dem Eintauchen
Wassertemper. 40° C.	11h 08′	140	
Zimmertemp. 21,5° C.	11h 09′	140	
Graphische Darstellung: Fig. 19	11h 10′	130	
	11h 11′	120	
	11h 12′	120	
	11h 13′	120	
	11h 14′	110	
	11h 15′	100	
	11h 16′	90	
	11h 17′	80	
	11h 18′	90	
	11h 19′	100	
	11h 20′	110	
	11h 21′	110	
	11h 22′	90	
	11h 23′	90	
	11h 24′	80	
	11h 25′	90	
	11h 26′	90	
Versuch vom 3. Juni 1913.	4h 44′	100	Vor dem Eintauchen
Wassertemper. 45° C.	4h 47′	170	
Zimmertemper. 21° C.	4h 48′	160	
Graphische Darstellung: Fig. 20	4h 49′	150	
	4h 50′	140	
	4h 51′	130	
	4h 52′	130	
	4h 53′	110	
	4h 54′	100	
	4h 55′	90	
	4h 56′	80	
	4h 57′	110	
	4h 58′	110	
	4h 59′	100	
	5h 00′	70	
	5h 01′	90	
	5h 02′	90	
	5h 03′	80	
	5h 04′	70	
	5h 05′	80	
Versuch vom 4. Juni 1913.	5h 40′	90	Vor dem Eintauchen
Wassertemper. 50° C.	5h 43′	200	
Zimmertemper. 22° C.	5h 44′	170	
Graphische Darstellung: Fig. 21	5h 45′	130	
	5h 46′	110	
	5h 47′	100	
	5h 48′	100	
	5h 49′	90	
	5h 50′	120	
	5h 51′	110	
	5h 52′	110	
	5h 53′	100	
	5h 54′	100	
	5h 55′	120	
	5h 56′	110	
	5h 57′	100	

Allgemeines	Zeit	Druck in Millimeter Wasser	Bemerkungen
Fortsetzung des Versuches v. 4. Juni 1913.	5h 58′	120	
	5h 59′	90	
	6h 00′	80	
	6h 01′	80	
	6h 02′	90	
	6h 03′	80	

Auch von den in Tabelle VII mitgeteilten Versuchen seien graphische Darstellungen gegeben. Die Abszissen bedeuten die Zeiten in Minuten, die Ordinaten den entsprechenden Kapillardruck in Millimeter Wasser. Der normale Kapillardruck, wie er jedesmal vor dem Eintauchen gefunden wurde, ist durch eine gestrichelte Linie angedeutet.

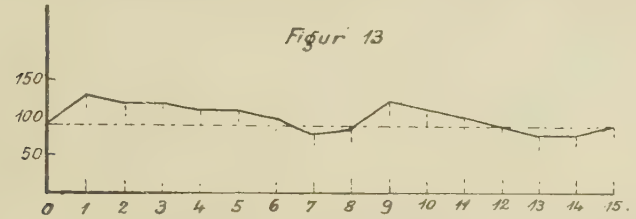


Einfluss von Wasser von 0° C.

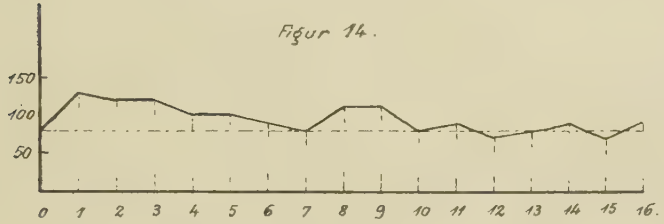


Einfluss von Wasser von 5° C.

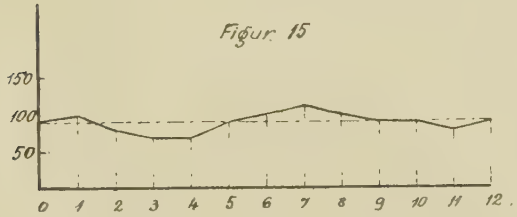
Einfluss von Wasser von 10° C.



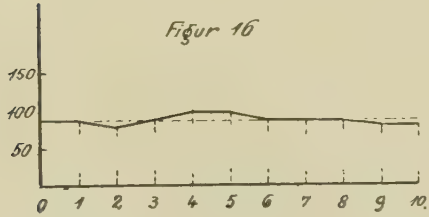
Einfluss von Wasser von 15° C.



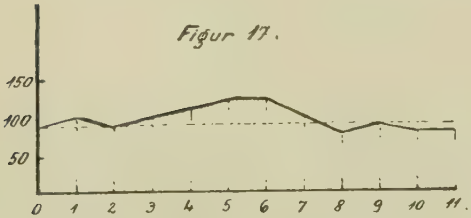
Einfluss von Wasser von 20° C.



Einfluss von Wasser von 25° C.

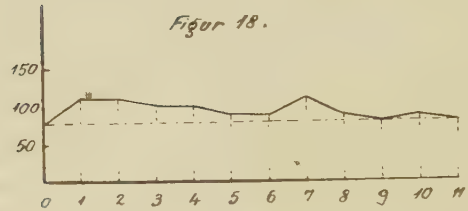


Einfluss von Wasser von 27,5° C.



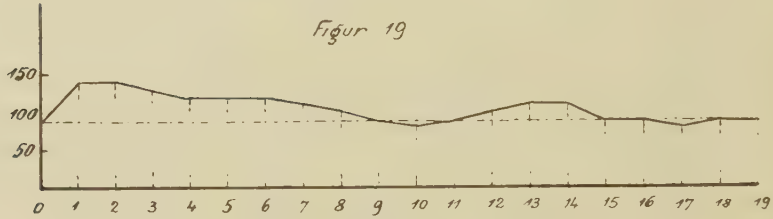
Einfluss von Wasser von 30° C.

Figur 18.



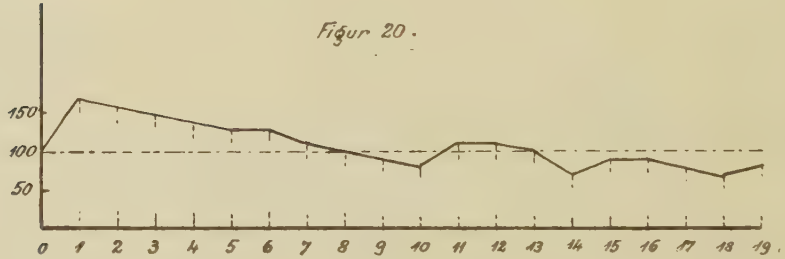
Einfluss von Wasser von 35° C.

Figur 19



Einfluss von Wasser von 40° C.

Figur 20.



Einfluss von Wasser von 45° C.

Figur 21.

Einfluss von Wasser von 50° C.

Betrachtet man insbesondere die graphischen Darstellungen der Untersuchungsergebnisse, so fällt vor allem die Tatsache auf, dass durch die verschiedenen Temperaturen nicht nur die Höhe des Kapillardruckes beeinflusst wird, sondern auch die Dauer der Nachwirkungen. Die Grösse beider Veränderungen ist abhängig von der

Stärke des Hautreizes, d. h. von dem Temperaturunterschied zwischen der Temperatur des einwirkenden Wassers und der Indifferenztemperatur. Weiter sehen wir aus den Versuchen, dass der normale Kapillardruck nicht momentan wieder erreicht wird, sondern erst nach gewissen Schwankungen.

Besprechung der Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen.

Überblicken wir die bisherigen Versuche, dann kann man als hauptsächliches Ergebnis hervorheben, dass bei einer Wassertemperatur, welche ungefähr der Zimmertemperatur adäquat ist, keine Beeinflussung des Kapillardruckes gefunden wurde, dass aber sowohl bei höheren wie auch niedrigeren Temperaturen ein grösserer Druck angewendet werden musste, um ein eben merkliches Blässerwerden der Haut hervorzurufen. Es handelt sich jetzt darum, dieses Ergebnis, das mich einigermaassen verblüffte, zu erklären.

Wie man sich die Abhängigkeit des Kapillardruckes von der Kaliberweite der verschiedenen Gefässe vorzustellen hat, haben Bayliss und Starling[1]) eingehend erörtert. Die Kapillaren sind zwischen dem peripheren Widerstand, den Arteriolen und den Venen, eingeschaltet. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die kleinen und kleinsten Arterien kontraktionsfähig sind. Ob die Venen sich aktiv kontrahieren, darüber ist bis jetzt eigentlich nichts Sicheres bekannt; manche Angaben sprechen eher dafür, dass sich die Venen nicht aktiv verengern. Dass die Kapillaren ihr Lumen selbständig verändern können, ist durch die Untersuchungen von Steinach und Kahn[2]) unzweifelhaft erwiesen.

Wenn also die Haut unter dem Einfluss von Wärme einen höheren Kapillardruck besitzt, so rührt dies wohl in erster Reihe daher, dass die kleinen Arterien und wahrscheinlich auch die Kapillaren sich erweitern. Dadurch wird der Gesamtquerschnitt der Arteriolen, die dem Blutstrom den grössten Widerstand bieten, weiter, und jenseits desselben, also in den Kapillaren, muss der Druck steigen. Da die kleinsten Gefässe mit Blut reichlicher gefüllt sind, wird auch die Haut röter, und gleichzeitig geht das Blut rascher durch sie

1) W. M. Bayliss and E. H. Starling, Observations on venous pressures and their relationship to capillary pressures. Journ. of Physiol. vol. 16 p. 159. 1894.

1) E. Steinach und R. H. Kahn, Echte Kontraktilität und motorische Innervation der Blutkapillaren. Pflüger's Arch. Bd. 97 S. 105. 1903.

hindurch, wie aus den Versuchen von Pick[1]) hervorgeht, welcher die Ausflussgeschwindigkeit des Blutes aus der zugehörigen Vene bestimmte. Die Versuche von Pick beweisen auch, dass es sich bei der Wärmehyperämie nicht um eine passive Drucksteigerung infolge von Verengerung der zuführenden Venen handelt, wie es die Winternitz'sche Schule[2]) annimmt, denn dabei müsste eine Verlangsamung des Blutstromes auftreten.

Schwieriger ist die Erklärung dafür, dass auch bei Abkühlung der Haut ein stärkerer Druck angewendet werden musste, um sie heller werden zu lassen. Wirkt Kälte auf die Haut, dann kontrahieren sich die Arteriolen, was ein Steigen des arteriellen Blutdruckes zur Folge hat; gleichzeitig wird die Haut blässer, da weniger Blut in ihr enthalten ist, und der venöse Abfluss wird verlangsamt[3]). Wenn bei unseren Messungen trotzdem ein höherer Druck angewendet werden musste, um die Haut blässer zu machen, so gibt es dafür zwei Möglichkeiten.

Es ist einmal denkbar, dass die Kapillaren und namentlich auch die kleinsten Venen sich gleichzeitig mit den Arteriolen, und zwar sehr stark, kontrahieren. Dadurch wird am Ende der Kapillarbahn ein neuer Widerstand geschaffen, und der Druck in den Kapillaren steigt infolgedessen. Dass bei Einwirkung von Kälte die Haut blass wird, würde dieser Auffassung nicht widersprechen; denn wenn die Verengerung der Gefässe aktiv erfolgt, so kann trotzdem der in ihnen herrschende Druck grösser werden; denn die Weite der Gefässe gibt der Haut die Farbe und nicht der Druck.

Ausserdem gibt es aber noch eine zweite Erklärungsmöglichkeit. Nach den Untersuchungen von Hueter[4]) und Nicolai[5]), der eine recht instruktive Zeichnung[6]) veröffentlichte, wissen wir, dass nie alle Kapillaren gleichzeitig mit Blut gefüllt sind. Kontrahieren sich die Arteriolen und Kapillaren eines Gefässgebietes, dann strömt in

1) F. Pick, Über den Einfluss mechanischer und thermischer Einwirkungen auf den Blutstrom und Gefässtonus. Zeitschr. f. Heilkunde Bd. 24 (N. F. Bd. 4) Abt. f. interne Medizin S. 49 (63). 1903.

2) W. Winternitz zit. nach F. Pick, l. c. S. 60.

3) F. Pick, l. c. S. 63.

4) C. Hueter, Mitteilungen über globulöse Stase und globulöse Embolie. Deutsche Zeitschr. f. Chirurgie Bd. 4 S. 330 (332). 1874.

5) G. F. Nicolai, Die Mechanik des Kreislaufes. W. Nagel's Handbuch d. Physiol. Bd. 1 S. 661 (767). 1909.

6) G. F. Nicolai, l. c. S. 762.

den dazugehörigen Kapillarbezirk weniger Blut. Es werden also mehr Kapillaren blutleer werden als vorher, und zwar zunächst diejenigen Kapillarschlingen, in welchen ohnedies der geringste Druck herrscht. In diesem Falle sind der Hauptsache nach nur noch solche Gefässschlingen gefüllt, in denen das Blut schon vor der Kälteeinwirkung unter höherem Druck stand. Bei der Untersuchung mit dem Ochrometer werden also in der Kälte ganz andere Gefässe komprimiert als bei Zimmertemperatur.

Um zu entscheiden, welche dieser beiden Auffassungen die richtige ist, habe ich einen Versuch mit dem Hautmanometer (vgl. S. 14) ausgeführt. Dabei ergab sich bei Abkühlung ein geringerer Kapillardruck als unter normalen Umständen, so dass damit die an zweiter Stelle mitgeteilte Erklärung bewiesen sein dürfte. Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass ich mit dem Hautmanometer nur einen einzigen Versuch ausführen konnte.

Beeinflussung des Kapillardrucks durch Temperatureinwirkungen auf entfernt gelegene Hauptpartien.

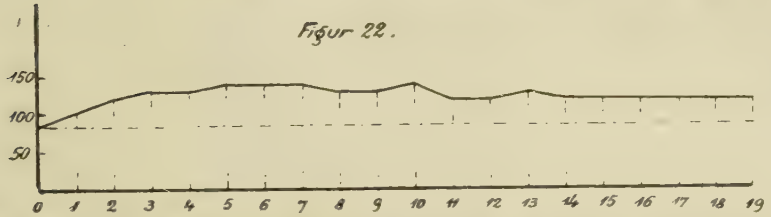
Bei den bisherigen Versuchen wurde die Hand abgekühlt oder erwärmt und nachher der Kapillardruck des Zeigefingers, d. h. einer Hautstelle des thermisch gereizten Bezirkes bestimmt. Jetzt ging ich dazu über, zu untersuchen, wie sich der Kapillardruck des Fingers während einer entfernteren Temperatureinwirkung verhält. Zu diesem Zweck brachte ich die Ellenbogengegend mit dem oberen Teil des Unterarmes in Wasser von verschiedener Temperatur und beobachtete gleichzeitig die Veränderungen des Druckes in den Fingerkapillaren. Die Lage des Armes war bei diesen Untersuchungen naturgemäss eine ziemlich gezwungene, so dass zunächst zu befürchten war, dass dadurch der Kapillardruck infolge einer gewissen venösen Stauung verändert werden könnte. Diesen möglichen Fehler suchte ich durch Ausführung der Kontrollbestimmungen in derselben Lage zu beseitigen. Es wurde also bei jedem Versuch zuerst ein grösseres leeres Gefäss entsprechend aufgestellt, der Ellbogen hineingelegt und die beiden Finger im Ochrometer zurechtgerückt. In dieser Lage erfolgte die erste Bestimmung des Kapillardruckes. Dann wurde, während Hand und Arm in derselben Lage blieben, das warme oder kalte Wasser in das Gefäss gegossen, und jetzt erfolgten die Ablesungen. Das Ergebnis von zwei solchen an mir selbst angestellten Versuchen ist aus Tabelle VIII zu ersehen.

Tabelle VIII.

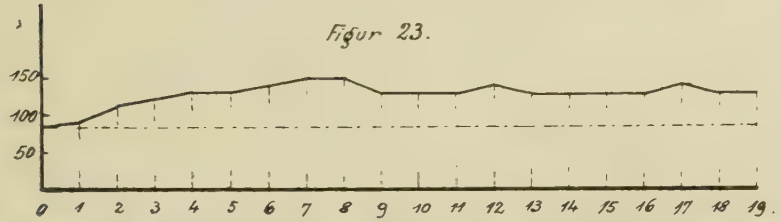
Einwirkung einer entfernten Temperaturveränderung auf den Kapillardruck. Versuchsperson: E. G., Ellbogengegend im Wasser.

Datum 1913	Zeit	Zimmertemperatur ° C.	Temperatur des Wasserbades ° C.	Kapillardruck in Millimeter Wasser	Bemerkungen
18. Juni (Fig. 22)	10h 10′	19,5	—	90	Vor dem Eintauchen
				80	
				80	
	10h 16′		13	100	
	10h 17′			120	
	10h 18′			130	
	10h 19′			130	
	10h 20′			140	
	10h 21′			140	
	10h 22′			140	
	10h 23′			130	
	10h 24′			130	
	10h 25′			140	
	10h 26′			120	
	10h 27′			120	
	10h 28′			130	
	10h 29′			120	
	10h 30′			120	
	10h 31′			120	
	10h 32′			120	
	10h 33′			120	
	10h 34′			120	
19. Juni (Fig. 23)	10h 45′	19	—	90	Vor dem Eintauchen
				80	
	10h 55′		45	90	
	10h 56′			110	
	10h 57′			120	
	10h 58′			130	
	10h 59′			130	
	11h 00′			140	
	11h 01′			150	
	11h 02′			150	
	11h 03′			130	
	11h 04′			130	
	11h 05′			130	
	11h 06′			140	
	11h 07′			130	
	11h 08′			130	
	11h 09′			130	
	11h 10′			130	
	11h 11′			140	
	11h 12′			130	
	11h 13′			130	

Auch diese Versuche habe ich graphisch dargestellt.



Einwirkung von Wasser von 13° C. auf den Arm. Die Abszissen bedeuten die Zeiten in Minuten, die Ordinaten den Druck in Millimeter Wasser.



Einwirkung von Wasser von 45° C. auf den Arm. Die Abszissen bedeuten die Zeiten in Minuten, die Ordinaten den Druck in Millimeter Wasser.

Aus diesen Versuchen geht jedenfalls unzweifelhaft hervor, dass der Kapillardruck auch durch Temperatureinwirkungen auf entfernt gelegene Körperteile beeinflusst werden kann. Dabei handelt es sich wohl in erster Reihe darum, dass von den thermisch gereizten Stellen aus die Veränderung des Kapillardrucks in den Fingern auf reflektorischem Wege herbeigeführt wird. Dass die durch Wärme bedingte Rötung der Haut zum grössten Teil an die Anwesenheit von Gefässnerven gebunden ist, geht aus den Untersuchungen von Schiff[1]) und Luchsinger[2]) hervor. Bei der gewöhnlichen Art meiner Untersuchung, bei welcher der Temperaturreiz auf den beobachteten Finger selbst wirkte, handelte es sich allerdings wohl gleichzeitig noch um eine direkte Reizung der Gefässwände. Dass eine solche möglich ist, lässt sich aus den Untersuchungen von Lewaschew[3]), Goltz und Ewald[4]) u. a. entnehmen, bei denen auch nach Unterbrechung der nervösen Leitung das Gefässlumen durch Temperatureinwirkungen

1) M. Schiff, Leçons sur la physiol. de la digestion t. 1 p. 233. 1867.

2) B. Luchsinger, Fortgesetzte Versuche zur Lehre von der Innervation der Gefässe. Pflüger's Arch. Bd. 14 S. 391. 1877.

3) S. Lewaschew, Über das Verhalten der peripheren vasomotorischen Zentren zur Temperatur. Pflüger's Arch. Bd. 26 S. 60 (76). 1881.

4) F. Goltz und J. R. Ewald, Der Hund mit verkürztem Rückenmark. Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 362 (391). 1896.

zu beeinflussen war. Ferner berichtet Pick[1]), dass an Extremitäten, deren Vasomotoren durch vorherige Durchschneidung gelähmt waren, die Einwirkungen differenter Temperaturen deutlich zutage traten.

Bestimmung des Kapillardrucks während des Eintauchens.

Der Ochrometer ist in der eingangs (S. 10) beschriebenen Form nicht dazu geeignet, Bestimmungen auszuführen, solange sich die Haut unter Flüssigkeit befindet; deshalb musste ich mich auch darauf beschränken, die direkten Nachwirkungen von Temperatureinflüssen zu untersuchen. Um jedoch wenigstens einige Bestimmungen ausführen zu können, solange die Haut dem warmen oder kalten Wasser ausgesetzt war, musste ein besonderes Verfahren angewendet werden. Zur Kompression des Fingers benützte ich Wasserdruck, indem ich die Hand — es handelte sich um die rechte — in ein tiefes Gefäss tauchte, in welches so lange Wasser eingefüllt wurde, bis die gewünschte Höhe des Wasserspiegels und somit des Druckes erreicht war. Da ich auch wieder zwei Finger vergleichen wollte, einen, der unter Druck stand, und einen anderen nicht gepressten, so waren zwei Gefässe nötig, für jede Hand ein besonderes, weil es sich in diesem Falle selbstverständlich nicht um die Benützung zweier Finger derselben Hand handeln konnte. Die Gefässe erhielten die Form, wie sie im folgenden beschrieben ist (Fig. 24 S. 37).

Der für die rechte Hand bestimmte Kasten ist in Fig. 24 dargestellt. Er ist 27 cm hoch, 30 cm lang und 11½ cm breit und besitzt an seiner vorderen Seite zur Aufnahme der Hand einen entsprechend gebauten Ansatz *h g f e c*, der aus zwei nebeneinanderliegenden Teilen *A* und *B* (Fig. 24 *II*) besteht. In den Teil *A* ist oben ein Glasfenster wasserdicht eingesetzt; er dient zur Aufnahme des Zeigefingers. Der Arm, in der Skizze durch eine punktierte Kontur angedeutet, wird von oben hereingebracht. Die Höhe des Kastens von 27 cm war nötig, um auch, wenn es sein müsste, einen stärkeren Druck auf die Hand ausüben zu können. Für die linke Hand, deren Zeigefinger nur zum Vergleich diente, war diese Höhe nicht notwendig; es kam nur darauf an, dass der ganze Finger sich unter Wasser befand. Im übrigen war der für die linke Hand gebaute Kasten, der in Fig. 25 abgebildet ist, dem schon beschriebenen ganz ähnlich.

1) F. Pick, l. c. S. 67.

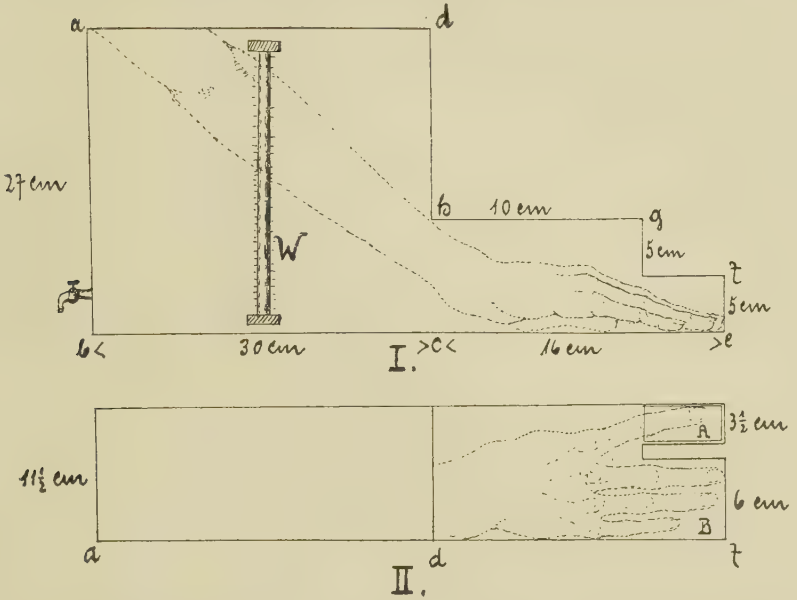


Fig. 24. Kasten zur Aufnahme des Armes. *I* von der Seite und *II* von oben gesehen.

Figur 25.

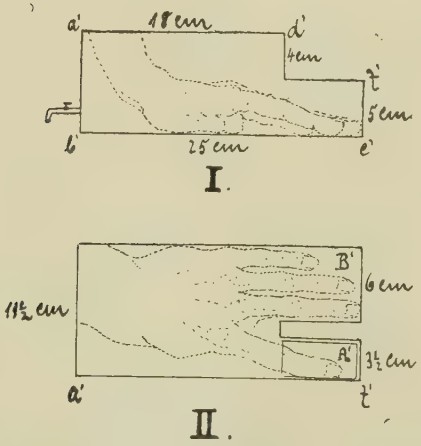


Fig. 25. Kasten zur Aufnahme der linken Hand. *I* von der Seite und *II* von oben gesehen.

Beide Kasten bestanden aus Zinkblech. An dem grösseren war, wie aus der Zeichnung 24 *I* ersichtlich ist, ein Wasserstandglas *W* mit einer Skala angebracht. Bei den Versuchen stellte ich beide Kasten

dicht nebeneinander, so dass also die mit Glas bedeckten Vorsprünge A und A' sich berührten, in denen der rechte bzw. linke Zeigefinger lag. Die Daumen brachte ich unter die Hände und die noch übrigen Finger in die breiteren vorderen Kästchen B und B'. Nun wurde von dem Beobachter so viel Wasser von einer bestimmten Temperatur auf beiden Seiten eingegossen, dass die Zeigefinger gerade bedeckt waren; bei unseren Versuchen stand dabei das Wasser $5^1/_2$ cm über dem Boden der Kasten. Über A und A' wurde nun der abnehmbare Teil des Ochrometers gebracht, der im wesentlichen aus dem Tubus d, den Fresnel'schen Prismen und dem das Ganze tragenden Gestell besteht (s. S. 10). Beim Hindurchblicken durch den Tubus sah man dann die beiden in den Kästchen A und A' liegenden Finger unter den sie bedeckenden Gläsern, und zwar auch wieder durch die Wirkung der Fresnel'schen Prismen dicht zusammengerückt. Auch hier war ein Hin- und Herschieben der Hände nötig, um solche Stellen zu finden, dass beide dem beobachtenden Auge erkennbaren Gesichtsfelder in der Farbe genau übereinstimmten. War dies erledigt, so wurde unter ständiger Kontrole der Fingerfarbe in den rechten Kasten langsam so viel Wasser nachgeschüttet, bis sich ein eben merklicher Farbenunterschied feststellen liess. Die Temperatur des nachgeschütteten Wassers war $^1/_2$—1° C. höher als diejenige, deren Einfluss untersucht werden sollte, weil bei dieser Manipulation immer viel Wärme verloren ging. Nach dem ersten Erblassen des rechten Fingers wurde die Höhe der Wasserschicht über dem Fingerrücken in der Glasröhre W abgelesen.

Das Unangenehme bei dieser Methode ist, dass man sitzend den rechten Arm nicht in das hohe Gefäss bringt. Die Untersuchungen mussten also im Gegensatz zu meinen früheren Bestimmungen in halbstehender Haltung ausgeführt werden, und der untersuchte Finger lag deshalb etwas tiefer unter der Herzhöhe. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle (S. 39) enthalten. In der letzten Kolumne sind die Werte, welche ich bei meinen vorhergehenden Versuchen für die entsprechenden Temperaturen erhalten hatte, zum Vergleich angeführt.

Vergleicht man die beiden letzten Kolumnen der Tabelle, dann erkennt man, dass für alle Temperaturen die jetzt gefundenen Werte um 15—20 mm Wasser höher sind als die früher mit dem Ochrometer bestimmten. Dieser Unterschied ist relativ klein im Verhältnis zu der grossen Verschiedenheit der Untersuchung und erklärt

Tabelle IX.

Versuchsperson: E. G.

Datum 1913	Zeit	Wasser-temp. ° C.	Wasserstand in Millimetern	Druck in Millimeter Wasser	Druck nach der Ochrometer-messung
1. Juli	11h 45′	33,5	Anfang 55 Ende 170	115	ca. 100
2. „	3h 15′	13,0	Anfang 55 Ende 230	175	ca. 155
3. „	3h 21′	43,0	Anfang 55 Ende 220	165	ca. 150

sich wohl zur Genüge aus dem verschiedenen Abstand des untersuchten Fingers von der Herzhöhe bei den beiden Methoden; im allgemeinen stimmt also das Ergebnis dieser Versuche auffallend gut überein mit den Werten, die nach der Erwärmung resp. Abkühlung gefunden wurden. Nur aus diesem Grunde wurde die eben erwähnte Versuchsreihe — trotz mancher theoretischen Bedenken, die sich gegen sie anführen liessen — veröffentlicht.

Versuche mit Quecksilber und Luft von verschiedenen Temperaturen.

Die bisherigen Versuche wurden mit Wasser ausgeführt, weil grössere Mengen von warmem und kaltem Wasser von bestimmter Temperatur am leichtesten zu beschaffen sind. Ausserdem kommt im praktischen Leben als Ursache für eine ausgedehnte Erwärmung oder Abkühlung der Haut hauptsächlich Wasser in Betracht. Ich erinnere nur an die Anwendung in der Hydrotherapie. Da aber längeres Verweilen der Haut in Wasser, wie auch Hering[1]) hervorhebt, die Epidermis erweicht und aufquellen lässt, so schien es mir wichtig, auch Temperatureinwirkungen zu untersuchen, bei denen die Haut nicht mit Wasser in Berührung kommt. Zu diesem Zwecke kamen hauptsächlich in Betracht Quecksilber und Luft.

Bei den Versuchen mit Quecksilber galt es, vor allem zu vermeiden, dass durch die Schwere des Quecksilbers allein schon der Kapillardruck beeinflusst wird, wie dies bei Eintauchen des ganzen

1) E. Hering, Der Temperatursinn in Hermann's Handb. d. Physiol. Bd. 3 Abt. 2 S. 415 (429). 1879.

Fingers der Fall wäre. Aus diesem Grunde stellte ich mir eine ziemlich grosse Quecksilberfläche her, auf die ich die Rücken der beiden in Betracht kommenden Finger bequem legen konnte. Das Gefäss mit Quecksilber stellte ich, je nachdem, in eine Kältemischung oder in warmes Wasser. Die Temperatur wurde durch Ablesen an der Quecksilberoberfläche mittels Thermometer bestimmt und durch Erwärmen auf gleicher Höhe erhalten.

Um warme Luft einwirken zu lassen, benützte ich folgende Methode: An einem Brutofen, wie er für Zwecke der mikroskopischen Technik verwendet wird, verschloss ich die Röhre, die von warmer Luft erfüllt ist, an der Vorderseite (statt des Türchens) mit einer ziemlich dicken Korkplatte, in der eine Öffnung angebracht war von der Grösse, dass man gerade zwei Finger hindurchstecken kann. Daneben befand sich ein kleines rundes Loch für einen Thermometer. Die Fingeröffnung konnte durch eine entsprechende Korkplatte geschlossen werden, bis das Thermometer die gewünschte Temperatur anzeigte. Für Einwirkungen von kalter Luft, deren Temperatur also niedriger war als die des Versuchszimmers, verwendete ich einen etwa 10 cm hohen und 6 cm weiten Becher aus Blech, der oben ebenfalls durch eine Korkplatte mit den nötigen Öffnungen für Finger und Thermometer abgeschlossen war. Dieses Gefäss wurde in eine Kältemischung gestellt, und es konnten auf diese Weise verhältnismässig tiefe Temperaturen der im Becher enthaltenen Luft erzeugt werden.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind aus der folgenden Tabelle zu ersehen.

Tabelle X.

Beobachtungen der Kapillardruckveränderungen nach Einwirkung von Luft und Quecksilber verschiedener Temperatur. Versuchsperson: E. G. Dauer der vorherigen Einwirkung: 1/4 Minute.

Datum 1913	Zeit	Zimmertemp. ° C.	Temperatur der Luftkammer ° C.	Druck in Millimeter Wasser	Durchschnittlicher Wert des Druckes
1. Versuche mit Luft von verschiedener Temperatur.					
10. Juni	9h 40′	18	vor Einwirkung d. warmen Luft	90 80	85
	9h 45′	18	25	100 90 100	96,7

Datum 1913	Zeit	Zimmertemp. ° C.	Temperatur der Luftkammer ° C.	Druck in Millimeter Wasser	Durchschnittlicher Wert des Druckes
10. Juni	10h 30′	18	30	110 100 100	103,3
	11h 55′	18	35	120 120 110	116,7
	3h 15′	19	40	130 110 120	120
	4h 40′	19	45	130 140 120	130
	11h 15′	17	vor Einwirkung der warmen resp. kalten Luft	90	90
11. Juni	11h 17′	17	50	140 140 140	140
	12h 01′	17	— 5	180 170 170	173,3
	3h 20′	17	0	140 140 140	140
	4h 02′	17	+ 5	130 120 130	136,3
12. Juni	11h 20′	18	10	120 110 120	116,3
	12h 05′	18	15	100 90 90	92,3
	4h 43′	19	20	90 90 90	90

(Graphische Darstellung: Fig. 26.)

2. Versuche mit Quecksilber von verschiedener Temperatur.

			Temp. d. Quecksilbers ° C.		
	11h 30′	19	vor Einwirkung d. Quecksilbers	90	90
13. Juni	11h 33′	19	30	110 120 110	113,3
	12h 04′	19	45	180 180 170	176,7
	2h 57′	19	35	140 140 130	136,7
	3h 36′	19	40	160 150 150	153,3

Datum 1913	Zeit	Zimmertemp. ° C.	Temperatur des Quecksilbers ° C.	Druck in Millimeter Wasser	Durchschnittlicher Wert des Druckes
14. Juni	9h 20′	18	vor Einwirkung d. Quecksilbers	80	80
	9h 24′	18	— 5	220 200 220	213,3
	10h 05′	18	0	200 200 200	200
	11h 32′	18	+ 5	190 200 190	193,3
	4h 20′	19	10	160 160 180	166,7
	5h 02′	19	15	140 140 130	133,3
16. Juni	11h 10′	19	20	110 120 120	116,7
17. Juni	4h 07′	20	vor Einwirkung d. Quecksilbers	90	90
	4h 09′	20	25	100 90 90	93,3

Graphische Darstellung: Fig. 27.

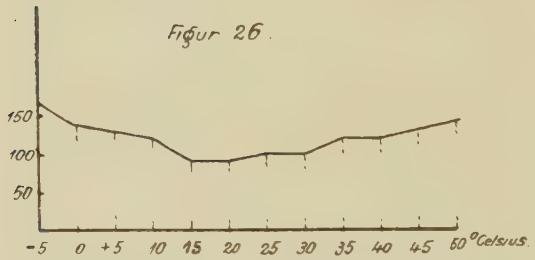


Fig. 26. Veränderung des Kapillardrucks nach Einwirkung von verschieden warmer Luft. Die Abszissen bedeuten die Temperaturgrade, die Ordinaten den entsprechenden Druck in Millimeter Wasser.

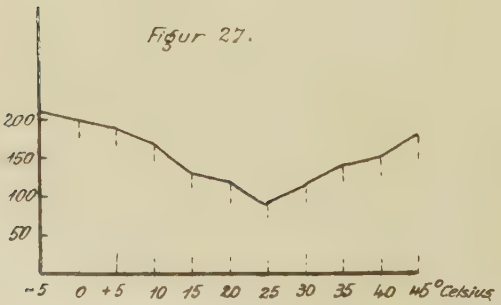


Fig. 27. Veränderung des Kapillardrucks nach Einwirkung von verschieden warmem Quecksilber. Die Abszissen bedeuten die Temperaturgrade, die Ordinaten den entsprechenden Druck in Millimeter Wasser.

Wenn wir die eben mitgeteilten Versuche überblicken, fällt sofort auf, dass die Temperatur, durch welche der Kapillardruck der Haut keine Veränderung erfährt, für Luft 15—20° C. und für Quecksilber etwa 25° C. beträgt. Bei den früheren Versuchen hatte ich gefunden, dass Wasser dann keinen Einfluss auf den Kapillardruck ausübt, wenn es eine Temperatur von 25° C., in manchen Fällen 30° C. hatte. Es ist dies auch ganz verständlich, denn Luft von 15—20° C. kann keine Abkühlung der Haut verursachen, so wenig wie sie eine Erwärmung zur Folge hat, da wir uns ja beinahe immer in einer solchen Temperatur befinden. Wasser von derselben Temperatur entzieht aber der Haut eine grössere Wärmemenge als Luft. Gleichtemperiertes Quecksilber müsste eigentlich noch mehr abkühlen als Wasser; denn Quecksilber entzieht bekanntlich mehr Wärme; doch ist der Unterschied offenbar zu gering, als dass er sich in meinen Versuchen fühlbar machte.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.

1. Unter normalen Umständen betrug der kleinste Kapillardruck meines linken Zeigefingers 70—90 mm Wasser; der Mittelwert lag bei etwa 85 mm Wasser.

2. Wirkte auf die Haut eine abnorme Temperatur ein, so wurde dadurch der bestimmbare Kapillardruck erheblich verändert; die Dauer der Temperatureinwirkung hatte aber keinen Einfluss.

3. Durch eine Wassertemperatur von 25—30° C. wurde der Kapillardruck so gut wie nicht verändert. Je höher aber die Temperatur über 30° C. stieg, desto mehr Druck fand man in den kleinsten Gefässen der Haut.

4. Bei Einwirkung von Wasser, dessen Temperatur unter 25° C. lag, stieg der messbare Kapillardruck ebenfalls, und zwar um so höher, je kälter das Wasser war. Es besteht jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass die kleinsten Kapillaren sich derartig kontrahieren, dass wir bei der Kompression zur Erzielung eines eben merklichen Farbenunterschiedes nur den Druck in etwas grösseren Gefässen messen.

5. Nach der Temperatureinwirkung stieg der Druck schnell bis zu seinem Maximum an. Im Laufe der folgenden 10 Minuten fiel er langsam ab zu einem Wert, der häufig unter dem ursprünglichen Kapillardruck lag, um sich dann zu einem zweiten, allerdings etwas niedrigeren Maximum zu erheben. Und hierauf folgte nun unter Schwankungen die Rückkehr zur normalen Höhe.

6. Auch die Nachwirkung eines thermischen Reizes war um so länger, je stärker der Reiz war; sie wurde jedoch durch die Dauer des Reizes nicht beeinflusst.

7. Wirkte die abweichende Temperatur nicht auf den untersuchten Finger selbst ein, sondern nur auf Ellenbogen und Unterarm, dann trat ebenfalls eine Erhöhung des Kapillardruckes am Finger ein, die aber einen etwas langsameren Verlauf hatte als bei der direkten Einwirkung thermischer Hautreize.

8. Bestimmungen des Kapillardruckes während des Eintauchens der Hand führten im wesentlichen zu denselben Ergebnissen wie die früheren Versuche, bei denen der Kapillardruck erst sofort nach der Einwirkung des Wassers gemessen werden konnte.

Zum Schlusse erfülle ich die angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Adolf Basler für die Überlassung der Arbeit sowie für die Unterstützung durch Rat und Tat bei ihrer Ausführung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Auch Herrn Professor Dr. Paul von Grützner bin ich für sein freundliches Entgegenkommen zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf.

Ich, Erwin Ludwig Goldmann, württ. Staatsangehörigkeit, bin geboren am 10. August 1891 zu Stuttgart-Cannstatt als Sohn des Fabrikanten Berthold Goldmann.

Zuerst besuchte ich die Elementarschule und das Gymnasium in Cannstatt und von Untertertia ab bis zur Reifeprüfung das Realgymnasium Stuttgart.

Im Herbst 1909 begann ich mein Studium der Zahnheilkunde und Medizin an der Universität Tübingen und legte dort im S.S. 1911 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Das W.S. 1911/12 war ich in Berlin und kehrte dann nach Tübingen zurück, wo ich im Mai 1913 das zahnärztliche Staatsexamen bestand und mein medizinisches Studium bis Ostern 1914 fortsetzte. Das S.S. 1914 verbrachte ich in Würzburg und liess mich im Juli dieses Jahres in Stuttgart als praktischer Zahnarzt nieder.

Während meiner Studienzeit war ich als Volontärassistent tätig am städt. Krankenhaus Cannstatt, an der Universitätszahnklinik Tübingen, sowie an der Olgaheilanstalt und der städt. Frauenklinik in Stuttgart.

Mit Beginn des Krieges trat ich als kriegsfreiwilliger Unterarzt in das Heer ein. Anfänglich war ich dem I. Batl. Landw.-Inf.-Reg. 119 zugeteilt, und zur Zeit bin ich beim III. Batl. Landst.-Inf.-Reg. 13 im Feld.

Vorstehende Dissertation habe ich unter Leitung von Herrn Professor Dr. Adolf Basler-Tübingen im Kgl. Physiologischen Institut daselbst verfasst. Ausserdem habe ich in zahnärztlichen und ärztlichen Fachzeitschriften verschiedene Arbeiten veröffentlicht.

Das Examen rigorosum habe ich am 22. Oktober 1915 beendet.